

**Vergleich des klinisch-radiologischen und biomechanischen Outcomes nach
juveniler Hallux valgus Operation**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades

doctor medicinae (Dr. med.)

**vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena**

**von Jennifer Lux
geboren am 23.11.1991 in Zwickau**

Gutachter

- 1. Prof. Dr. Georg Matziolis, Eisenberg**
- 2. Prof. Dr. Dr. Gunther O. Hofmann, Jena**
- 3. PD Dr. Georgi Wassilew, Berlin**

Tag der öffentlichen Verteidigung: 04.12.18

1. Inhaltsverzeichnis

1. Inhaltsverzeichnis	I
2. Abkürzungsverzeichnis	IV
3. Zusammenfassung	1
4. Einleitung und Wissenschaftlicher Stand	3
4.1 Allgemeines	3
4.1.1 Definition Hallux valgus	3
4.1.2 Anatomie und Pathoanatomie	3
4.1.3 Epidemiologie	5
4.1.4 Ätiologie	6
4.1.4.1 Heredität	6
4.1.4.2 Extrinsische Faktoren	7
4.1.4.3 Metatarsus primus varus	7
4.1.4.4 Metatarsus adductus	8
4.1.4.5 Pes equinus	8
4.1.4.6 Pes planus	8
4.1.4.7 Hypermobilität des ersten Strahls	9
4.1.4.8 Form und Länge des Metatarsale 1 und dessen Gelenke	9
4.1.4.9 Insuffizienz des Weichteilapparats	10
4.1.4.10 Andere Ursachen	10
4.2 Diagnostik	11
4.2.1 Klinische Beurteilung	11
4.2.2 Radiologische Beurteilung	13
4.2.2.1 Schweregradbestimmung	14
4.2.2.2 Weitere wichtige Parameter zur Verfahrenswahl	14
4.2.2.3 Radiologischer Ausschluss anderer Fußdeformitäten	17
4.2.3 Fußdruckmessung	18
4.2.3.1 Geschichte	18
4.2.3.2 Heutige Messverfahren	19
4.2.3.3 Normale Druckverteilung und Bewegungsabläufe	19
4.2.3.4 Messungen an Patienten mit Hallux valgus	20
4.3 Therapie	20
4.3.1 Konservative Therapie	20
4.3.2 Operative Therapie	24
4.3.2.1 Aktuelle Verfahren in der Hallux valgus Chirurgie	24
4.3.2.2 Historische Operationsverfahren	29
4.3.2.3 Operationen in der Erwachsenenmedizin bei Hallux valgus und rigidus	33
4.3.3 Nachbehandlung	34

5.	Ziele der Arbeit	35
6.	Material und Methoden	36
6.1	Patientenaktenstudie	37
6.2	Klinische Untersuchung und Anamnese	37
6.3	Patientenfragebogen	38
6.4	Röntgenbildanalyse	39
6.4.1	Röntgenologische Beurteilung im anterior-posterioren Strahlengang	39
6.4.2	Röntgenologische Beurteilung im lateralen Strahlengang	42
6.4.3	Subjektive Beurteilung	43
6.5	emed®-Fußdruckmessung	44
6.5.1	Aufbau und Durchführung	44
6.5.2	Auswertung	45
6.6	Statistische Auswertung	47
7.	Ergebnisse	48
7.1	Ergebnisse der Patientenaktenstudie	48
7.1.1	Geschlechterverteilung	48
7.1.2	Altersverteilung	48
7.1.3	Operationsseite	49
7.1.4	Behandlungsverteilung	49
7.2	Ergebnisse der klinischen Scores	52
7.3	Fragebogenauswertung	53
7.4	Ergebnisse der radiologischen Parameter	56
7.5	Fußdruckmessung	58
7.5.1	Prä- und postoperativer Vergleich	58
7.5.1.1	Hallux-valgus-Winkel	58
7.5.1.2	Kraftmaximum	59
7.5.1.3	Spitzendruck	60
7.5.1.4	Kontaktzeit	62
7.5.2	Korrelationsanalyse	68
7.5.2.1	Klinische Korrelationen	68
7.5.2.2	Radiologische Korrelationen	70
7.5.3	Regressionsanalyse	72
8.	Diskussion	74
8.1	Diskussion der Patientenaktenstudie	74
8.2	Diskussion des Fragebogens	75
8.3	Diskussion des prä- und postoperativen Vergleichs	77
8.3.1	Klinik	77
8.3.2	Radiologische Parameter	78

8.3.3 Fußdruckmessung.....	79
8.3.3.1 Präoperative Analyse.....	79
8.3.3.2 Postoperative Veränderungen.....	81
8.3.3.3 Vergleich der Operationsverfahren	83
8.4 Diskussion der Korrelationsanalyse	85
8.5 Diskussion der Regressionsanalyse.....	88
9. Schlussfolgerungen	92
10. Literatur- und Quellenverzeichnis.....	94
11. Anhang	A
11.1 Fragebogen zum juvenilen Hallux valgus	B
11.2 Bildband zum Operationsverlauf exemplarisch an einer Doppelosteotomie	D
11.3 Abbildungsverzeichnis	J
11.4 Tabellenverzeichnis.....	K
11.5 Danksagung	L
11.6 Ehrenwörtliche Erklärung	M
11.7 Lebenslauf	N

2. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AOFAS	American Orthopaedic Foot and Ankle Society
a.p.	Anterior-posteriorer Strahlengang
Art./Artt.	Gelenk/Gelenke (lat.: <i>Articulatio/Articulationes</i>)
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.
BMI	Body Mass Index
BW/ KG	Bodyweight/ Körpergewicht in kg
Bzw.	Beziehungsweise
Ca.	Circa
CI	Konfidenzintervall
COP	Center of Pressure
D	Digitus
DGOOC	Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie
DMAA	Distal metatarsal articulation angle (Distaler metatarsaler Gelenkflächenwinkel)
Et al.	Et alteri („und die jeweils anderen“)
Evtl.	Eventuell
Ext.	Extensor
F	Kraft in Newton
FFI	Foot Function Index
GZGG	Großzehengrundgelenk
HV-Winkel	Hallux-valgus-Winkel
ICP	Infantile Zerebralparese
IM-Winkel	Intermetatarsalewinkel
IP	Interphalangeal
K-Drähte	Kirschner Drähte
KI	Konfidenzintervall
Lig./Ligg.	Band/Bänder (lat.: <i>Ligamentum/ Ligamenta</i>)
M./Mm.	Muskel/ Muskeln (lat.: <i>Musculus/ Musculi</i>)

Max	Maximum
Min	Minimum
MFK	Mittelfußköpfchen
MOFXQ	Manchester-Oxford Foot Questionnaire
MT	Metatarsale
MTP	Metatarsophalangeal
n	Anzahl
OP	Operation
OSG	oberes Sprunggelenk
P.	Punkte
p-Wert	Statistische Irrtumswahrscheinlichkeit
r	Korrelationskoeffizient
ROP	Roll-Over-Phase
S	Seite
*	statistisch signifikant in einem 95%igen Konfidenzintervall
**	statistisch signifikant in einem 99%igen Konfidenzintervall
t	Zeit
Tab.	Tabelle
VAS	Visuelle Analogskala
VAS-FA	Visuelle Analogskala- Fuß und Sprunggelenk
z.B.	zum Beispiel

SI-Einheiten

cm	Zentimeter	min	Minuten
d	Tage	mm	Millimeter
°	Grad	Mon	Monate
Hz	Hertz	N	Newton
J	Jahre	p	Druck in kPa
kg	Kilogramm	%	Prozent
kPa	Kilopascal		
m	Meter		

3. Zusammenfassung

Das Krankheitsbild des Hallux valgus ist ein weit verbreitetes in der adulten weiblichen Population. Nur wenig ist allerdings in Bezug auf die juvenile Form bekannt, die sich bei der Mehrzahl der Kinder bereits im Schulalter manifestiert. In der Mehrzahl der Fälle ist keine Operation notwendig. Die Indikation wird vom behandelnden Arzt anhand von Klinik und Fehlstellung des Hallux gestellt. Zur standardmäßigen Diagnostik und Nachkontrolle gehört die Erstellung eines Röntgenbildes. In den letzten Jahren wurde zudem die Fußdruckmessung zur Objektivierung eingesetzt. Bisher liegen allerdings keine Studien an einem pädiatrischen Patientengut mit Hallux valgus vor.

Die hier dargelegte Studie befasst sich damit, inwieweit durch den zusätzlichen routinemäßigen Einsatz biomechanischer Verfahren Vorteile in der postoperativen Betreuung dieser Patienten entstehen. Vorzüge gegenüber radiologischen Parametern zur Outcomebeschreibung bei juvenilem Hallux valgus werden aufgezeigt. Außerdem wird die Bedeutung von Daten, die an einer gesunden Kontrollgruppe normiert wurden, hervorgehoben und anhand dessen Korrelationen zwischen diagnostischen Parametern und der postoperativen Klinik erstellt. Zusätzlich werden Unterschiede zwischen den standardmäßig eingesetzten Operationsverfahren Chevron-, Doppelosteotomie und rein proximale Umstellung ermittelt.

Die Daten entstammen dem Archiv der orthopädischen Klinik des Waldkrankenhauses „Rudolf-Elle“ in Eisenberg. Zusätzlich wurde ein historisch gewachsenes Kontrollkollektiv für die Fußdruckdiagnostik aus gesunden Probanden (n=100) erstellt, das in Übereinstimmung mit dem Alter zur postoperativen Nachuntersuchung stand. Für einen generellen Trend der Fußdruckmessung wurden alle Patienten (n=78) zwischen 1999 und 2016, die keine komplexen Fußfehlbildungen oder neurologischen Störungen aufwiesen und die mit einer Chevron-, Doppel- oder proximalen Osteotomie behandelt wurden, eingeschlossen. Des Weiteren wurde ein Vergleich zwischen diesen Gruppen durchgeführt. Die Erfassung des AOFAS Scores vor und nach Operation erfolgte anhand der Patientenakten. Zusätzlich wurde ein Fragebogen erstellt, der den Patienten und einer konservativ behandelten Gruppe, ausgehändigt wurde.

Die Ergebnisse erbrachten keine Unterschiede im klinischen Outcome zwischen den Gruppen. Dennoch konnte man bezüglich der postoperativen Fußdruckmessung Unterschiede dokumentieren. Die physiologischsten Werte wurden in der Chevrongruppe erzielt. Die größten Unterschiede zur Kontrollgruppe hinsichtlich der Druckverteilung zeigten sich bei Zustand nach Doppelosteotomie.

Prinzipiell konnten klinisch, als auch radiologisch, signifikante Verbesserungen postoperativ erzielt werden. Zudem kam es zu einer Anpassung der Rückfußbelastung an Normalwerte. Schlechte Ergebnisse wurden im Vor- und Mittelfußbereich erzielt. Postoperativ kam es weiterhin zu einer Schonung und Verschlechterung der pedobarografischen Werte unter der Großzehe, wohingegen sich die Druckwerte unter den MFK erhöhten. Vermutlich spielen hier Adaptationsmechanismen und schmerzbedingtes Vermeidungsverhalten eine signifikante Rolle, wodurch eine abweichende bzw. eingeschränkte Abrollbewegung dokumentiert wurde. Vermehrte Belastung unter den MFK führte längerfristig gesehen zu Schmerzen und Schwielen unter den betroffenen plantaren Bereichen.

Ein Regressionsmodell anhand 4 normierter pedobarografischer Parameter zur postoperativen Vorhersage des AOFAS Scores und somit des klinischen Outcomes konnte gefunden werden. Eingeschlossen wurden dabei die Zeit und Fläche unter dem MFK 4, der Druck unter den Zehen 3-5 und unter der Großzehe. Sowohl radiologische Parameter als auch nicht-normierte Daten konnten bei der Analyse nicht überzeugen.

Im Vergleich unserer Studie mit bereits vorliegenden wurde deutlich, dass Parallelen mit adulten Patienten und deren Fußdruckmessung bestehen. Andere Studien zur Fußdruckmessung eines pädiatrischen Patientengutes mit Hallux valgus lagen nicht vor. Wir fanden in der Schonung der Großzehe und Belastung der Metatarsalia ähnliche Adaptationsmechanismen prä- als auch postoperativ. Korrelations- und Regressionsanalyse hoben den Stellenwert der Fußdruckmessung zur postoperativen Outcomebeschreibung hervor. Wie auch andere Studien berichten, besitzt die radiologische Diagnostik keinen Vorhersagewert zum klinischen und funktionellen Resultat der Operation.

4. Einleitung und Wissenschaftlicher Stand

4.1 Allgemeines

Der aktuelle wissenschaftliche Stand zeigt eine Reihe von Operationsmöglichkeiten für den juvenilen Hallux valgus auf. Zahlreiche Studien erläutern das Outcome nach einer solchen Operation. Die meisten beziehen sich allerdings auf ein adultes Patientenspektrum bzw. haben in ihre Diagnostik keine Fußdruckmessung einbezogen. Die vorliegende Arbeit befasst sich damit, inwieweit durch den Einsatz biomechanischer Verfahren Vorteile in der Entscheidungsfindung zur Operation und der postoperativen Betreuung dieser Patienten entstehen. Außerdem soll gezeigt werden, wie nach einer Operation durch Chevron-, Doppel- und proximale Osteotomie das Outcome mit radiologischen und pedobarografischen Parametern korreliert und inwieweit diese sich von der Norm unterscheiden.

4.1.1 Definition Hallux valgus

Der Hallux valgus juvenilis ist ein lange bekanntes Problem. In den 40er und 50er Jahren des letzten Jahrhunderts beschäftigten sich zahlreiche Kliniker und Wissenschaftler mit seiner Entstehung und Klinik (Jones 1948, Cholmeley 1958). In der aktuellen AWMF-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) wird der Hallux valgus als „eine Fehlstellung der Großzehe mit einer Achsenabweichung nach fibular (Valgus) bei gleichzeitiger medialer Achsenabweichung des Metatarsale I (Varus)“ definiert (Waizy 2014). Diese Definition besteht unverändert schon seit vielen Jahren. Als juvenil wird ein Hallux valgus im Alter von 11 bis 18 Jahren bezeichnet, vorher ab einem Alter von 6 Jahren, als kindlich (Fuhrmann 2013).

4.1.2 Anatomie und Pathoanatomie

Der erste Strahl nimmt hinsichtlich Belastung und Anatomie eine Sonderposition unter den Zehen ein. Das erste Metatarsophalangealgelenk ist gekennzeichnet durch einen Sesambeinkomplex und ein Zusammenspiel von vier Muskelgruppen, die zur Beweglichkeit der Zehe und der Stabilisation des Gelenkes dienen. Wie die Abb. 1 auf S. 4 zeigt, setzen von dorsal die Zehenstrecker mit dem M. extensor hallucis longus und brevis an (Lowery und

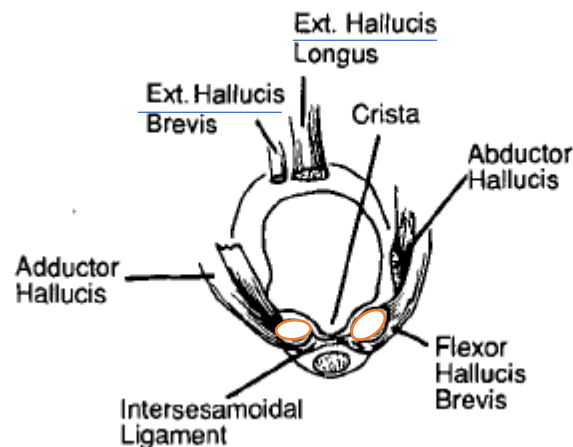


Abb.1: Ansatz der Sehnen und Lage der Sesambeine (orange) modifiziert nach Coughlin 1996

Wukich 2009). Ersterer ist durch das Hood'sche Ligament verankert, welches wiederum mit den Kollateralbändern und den Bändern der Sesambeine die Kapsel des Gelenkes bildet (Coughlin 1996). Jeweils lateral und medial gelegen, ziehen von plantar der M. adductor und abductor hallucis an die Basis der proximalen Phalanx. Die Mm. flexores hallucis longus und brevis erreichen von plantar die Faserplatte. In die beiden Sehnen des M. flexor hallucis brevis und jeweils des M. abductor und adductor hallucis sind die beiden Sesambeine eingelagert. Sie besitzen als halbkugelförmige Knochen eine Hebelfunktion zur Kraftersparnis ähnlich der Patella am Kniegelenk. Eingelassen sind sie in die Cristae, kleine Einbuchtungen des Caput ossis metatarsi I (Thomas und Barrington 2003, Schünke et al. 2005).

Kinder besitzen eine offene Epiphysenfuge an der Basis des Metatarsale 1, welche sich bei Mädchen mit ca. 14 Jahren und bei Jungen mit 16 Jahren in der Regel vollständig verschlossen hat (Anderson et al. 1956). Dies muss bei Operationen an der Großzehe bedacht werden, damit es nicht zu Deformitäten aufgrund von Wachstumsveränderungen kommt.

Beim Hallux valgus kommt es zu einer Medialisierung des Metatarsale 1 und einer Lateraldeviation der proximalen Phalanx. Auf die verschiedenen möglichen Gründe wird unter Punkt 4.1.4 weiter eingegangen. Bereits durch leichte Verschiebungen der knöchernen Strukturen wird ein Mechanismus in Gang gesetzt, der die ligamentären und muskulären Verhältnisse verändert. Die physiologische Lage der Weichteile verdeutlicht Abb. 2. auf S. 5. Anstatt das Gelenk zu stabilisieren, wirken die Muskeln bei Auftreten eines Hallux valgus einen lateralen Zug auf die longitudinale Achse des ersten Strahls aus (Glasoe et al. 2010). Der M. abductor hallucis verlagert sich nach plantar und lateral, sodass medial nur noch der relativ schwache Anteil der mediodorsalen Kapsel das Gelenk stabilisiert. Durch die Wanderung entwickelt er sich funktionell zu einem Adduktor der Phalanx. Der M. adductor hallucis besitzt nun keinen Gegenspieler mehr, unterstützt die Adduktion der proximalen Phalanx und treibt

eine passive Subluxation des lateralen Sesambeins an (Coughlin 1996). Die sogenannte „Sesambeinluxation“ ist also in Wahrheit einer Inkongruenzbildung durch die Varusabdriftung des MFK1 zu verschulden (Pisani et al. 1998a). Da der M. adductor hallucis plantar ansetzt, kommt es außerdem durch seinen Zug zu einer Pronation der Großzehe, die auch bei Kindern beobachtet werden kann. Im weiteren Verlauf gelangt der M. extensor hallucis longus in den interdigitalen Raum zwischen der ersten und zweiten Zehe. Hier wird er ebenfalls zu einer Adduktionskraft für die Großzehe (Coughlin 1996). Wichtig im gesamten Kontext der Pathogenese ist, dass ein einmalig aufgetretener pathologischer Sehnenzug einen Automatismus zur Verschlimmerung der Deformität in Gang setzt.

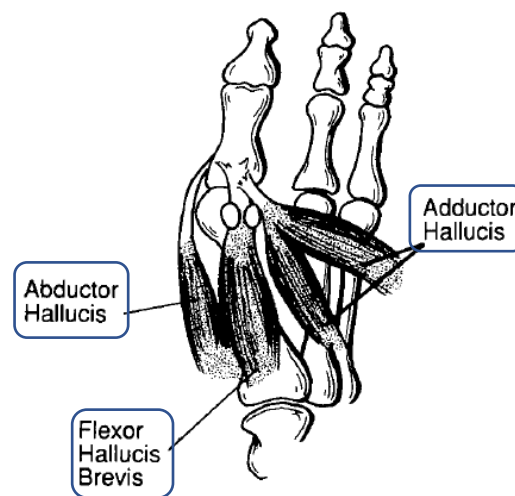


Abb. 2: Die wesentlichen Muskeln bei der Pathogenese des Hallux valgus modifiziert nach Coughlin 1996

4.1.3 Epidemiologie

Die Inzidenz des juvenilen Hallux valgus liegt laut einer Studie, die an 6000 Schulkindern durchgeführt wurde, bei rund 1,6%. Häufig tritt die Deformität beidseits auf, nur selten unilateral, wobei Jungen zumeist von letzterer Form betroffen sind (Kilmartin et al. 1991). Wie der adulte Hallux valgus, betrifft auch die juvenile Form bevorzugt die weibliche Bevölkerung. Hierbei findet sich in verschiedenen Studien, wie auch bei uns, ein Mädchenanteil zwischen 75-88% (Coughlin 1995b, Kilmartin et al. 1991, Cole 1959). Einen Ansatz zur Erklärung der Geschlechterbevorzugung erbrachten Ferrari J und Watkinson D, die herausfanden, dass gesunde Mädchen deutlich höhere Druckspitzen unter der Großzehe und eine Medialisierung des Druckschwerpunktes bei einer Fußdruckmessung aufwiesen (Ferrari und Watkinson 2005). In einer neueren Studie wiesen Mädchen ebenfalls eine größere Vorfußkontaktfläche als die

männlichen Probanden auf (Bosch et al. 2010). Die genaue Ursache der Geschlechterbevorzugung bleibt jedoch noch weiter unklar. Retrospektiv betrachtet geben ca. 50% der älteren Hallux-valgus-Patienten an, bereits vor dem 20. Lebensjahr eine veränderte Großzehenstellung bemerkt zu haben (Hardy und Clapham 1951). Bevorzugt tritt der Hallux valgus in einer Schuhe tragenden Gesellschaft in Kombination mit einem Pes planus auf, was in einer großen indischen Studie an 2300 Kindern bewiesen werden konnte (Rao und Joseph 1992).

4.1.4 Ätiologie

Viele Autoren versuchen bereits seit langem den ursprünglichen Grund für die Lateraldeviation der Großzehe herauszufinden. In der Literatur findet man zumeist nur Ansätze zur Klärung der Deformität. Wahrscheinlich kann man die Genese des idiopathischen Hallux valgus nicht pauschalisieren und es ist, wie Marcinko beschreibt, ein „multifaktorielles Geschehen“ (Lynch und Marcinko 1994). Im Folgenden sollen nun die einzelnen möglichen Pathogenesen besprochen werden.

4.1.4.1 Heredität

Eine positive Familienanamnese besteht in den verschiedenen Studien zwischen 63% und 90% (Pique-Vidal et al. 2007, Coughlin und Jones 2007, Hardy und Clapham 1951). Mit ca. 77% wird dabei angegeben, dass die eigene Mutter einen Hallux valgus besaß. Der Vater schien nur in 16% der Fälle betroffen zu sein und Geschwisterkinder mit 33% (Hardy und Clapham 1951). Da die Krankheit manche Familien über drei Generationen hinweg befällt, gehen manche Autoren sogar davon aus, dass es sich um einen autosomal dominanten Erbgang handelt. Da aber Generationen übersprungen werden können und die Penetranz in der Studie von Piqué-Vidal bei ca. 56% lag, ist davon auszugehen, dass es sich um eine inkomplette Penetranz handle (Pique-Vidal et al. 2007, Johnston 1956). In dieser Forschungsarbeit wurde ebenfalls statuiert, dass besonders Patienten unter 10 Jahren eine positive Familienanamnese aufwiesen und besonders schlimme Fälle bei mütterlicher Übertragung auftraten. Inwieweit diese genetischen Faktoren eine Rolle in der Entwicklung des Hallux valgus spielen, scheint allerdings bis heute noch nicht geklärt. Wahrscheinlich werden allerdings prädisponierende Faktoren vererbt und nicht die Deformität an sich (Fuhrmann 2013).

4.1.4.2 Extrinsische Faktoren

In früheren Studien wurden nur etwa 24% der Patienten mit juvenilem Hallux valgus in Verbindung mit zu engem Schuhwerk gebracht (Coughlin 1995b) und man wollte aufgrund des Geschlechterunterschieds und der Unilateralität diesen Grund nicht als Hauptfaktor in Betracht ziehen (Cholmeley 1958).

Heute muss man annehmen, dass zu enge Schuhe bei Kindern, die bereits prädisponierende Faktoren aufweisen, zu einer Aggravation beitragen können (Coughlin 1995a). Eine Studie von Klein konnte belegen, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen zu kurzem Schuhwerk und der Vergrößerung des Hallux-valgus-Winkels gab. Über die den zeitlichen Verlauf und die Entwicklung einer daraus folgenden Pathologie konnten allerdings keine Aussagen getroffen werden (Klein et al. 2009). Bedeutend erscheint die Tatsache aber, da man sowohl in dieser Studie, als auch in einer türkischen Studie an 1000 Vorschulkindern belegen konnte, dass nur ca. 9-22% der Outdoor-Schuhe und 7-9% der Indoor-Schuhe die optimale Passform besaßen. Hinzu kommt die Schuhbreite, die in ca. 20% der Probanden zu eng war (Yurt et al. 2014).

Als Ätiopathogenese des adulten Hallux valgus sind Schuhe unumstritten, was zahlreiche Studien im Vergleich zu barfußlaufenden Völkern beweisen (Shine 1965, Barnicot und Hardy 1955, Sim-Fook und Hodgson 1958).

4.1.4.3 Metatarsus primus varus

Als Metatarsus primus varus wird eine Fehlstellung der Metatarsalia 1 und 2 zueinander mit einem vergrößerten Winkel zwischen beiden Knochen von mehr als 10° bezeichnet (Waizy 2014). Dieser Winkel ist der Intermetatarsalewinkel und erscheint eindeutig vergrößert bei Hallux valgus Patienten im Vergleich zu normalen Füßen. Es konnten signifikante Korrelationen zwischen ihm und dem Hallux valgus Winkel gefunden werden. Hierbei kommt es durch ein Abweichen des Metatarsale 1 und die Verbindung der proximalen Phalanx zum Sesambeinkomplex und den Ligg. intermetatarsalia konsekutiv zu einer Lateralverschiebung und Subluxation der proximalen Phalanx im Metatarsophalangealgelenk (Kayiaros et al. 2011). Eine Spreizfußdeformität, bei der der Vorfuß auseinanderweicht und das Quergewölbe zerstört wird, ist die Folge. Der Grund für die Medialabweichung des Metatarsale 1 konnte bislang allerdings noch nicht herausgefunden werden, ebenso wenig, ob es sich um einen primären oder sekundären Prozess handelt (Piggott 1960). Mittlerweile geht man jedoch davon aus, dass die laterale Deviation der proximalen Phalanx als primäre Ursache in Frage kommt, da eine

alleinige Korrektur an der Phalanx eine Behebung des Metatarsus primus varus nach sich ziehen kann (Antrobus 1984, Sorensen und Hyer 2009). Kilmartin und Barrington konstatieren, dass der Grund weder in einer Fehlstellung des Os cuneiforme mediale liegt, noch von einer veränderten Konfiguration des Metatarsale 1 abhängt (Kilmartin et al. 1991).

4.1.4.4 Metatarsus adductus

Historische Studien konnten eine 3,5fach erhöhte Prävalenz des Metatarsus adductus in Hallux-valgus Patienten nachweisen (La Reaux und Lee 1987). Dies konnte auch in neueren Studien mit Prävalenzen von 33% und 29,4% bestätigt werden (Aiyer et al. 2014, Loh et al. 2015). Bei dieser Fußdeformität kommt es zur Adduktion aller Metatarsalia, Supination der subtalaren Gelenke und einer Plantarflexion des ersten Strahls (Aiyer et al. 2014). Sie ist damit innerhalb der Lisfranc-Gelenke (Artt. tarsometatarsales) verankert (Berg 1986, Hassan und Roger 2015). Eine Theorie ist, dass die Adduktion des Vorfußes das erste Metatarsophalangealgelenk unter größeren Stress zur Subluxation im Sinne einer Valgusdeformation setzt (Kilmartin et al. 1991). Diesem Prozess wird nachgesagt, dass er die Entwicklung des Hallux valgus stützt, indem er einerseits einen Metatarsus primus varus und andererseits eine kompensatorische Rotation der Großzehe im Sinne der Pronation fördert (Mahan und Jacko 1991).

4.1.4.5 Pes equinus

Kommt es zur Verkürzung der Achillessehne bzw. zur Kontraktur des M. gastrocnemius oder M. soleus, so entsteht die sogenannte Spitzfußdeformität. Die passive Dorsalflexion im oberen Sprunggelenk wird auf weniger als 10° eingeschränkt. Dadurch entsteht wiederum eine pathologische Pronation und Instabilität des Vorfußes, was seinerseits prädisponierend für die Valgusdeformität ist (Lynch und Marcinko 1994). Dieser Meinung ist auch Fuhrmann, die von einer „Funktionsstörung der Wadenmuskulatur“ spricht (Fuhrmann 2013). Allerdings wurden in der Studie von Coughlin nur 11% der Patienten entdeckt, die eine solche Problematik aufwiesen, was im Vergleich zu anderen Ursachen diese als weniger entscheidend darstellte (Coughlin und Jones 2007).

4.1.4.6 Pes planus

1925 konstatierte Hohmann: „Hallux valgus is always combined with pes planus and pes planus is always the predisposing factor in hallux valgus“ (Hohmann 1925). Er hatte zwar recht mit

der Annahme, dass der Pes planus oft zusammen mit einem Hallux valgus auftritt und eine Fußdruckstudie mittels Harris Mat® (Hersteller Aetrex®), einer Konstruktion die mittels Papier und Tinte den Fußabdruck aufzeichnet, soll auch belegt haben, dass ein flaches Quergewölbe signifikant häufiger bei Hallux valgus Patienten vorkommt (Grebing und Coughlin 2004). Dennoch sind Studien vollzogen worden, die zeigen, dass das Gewölbe des Fußes keinen signifikanten Unterschied zwischen Hallux-valgus- und Kontrollgruppen aufweist (Kilmartin und Wallace 1992). Coughlin berichtet über eine Inzidenz von 17% in seiner Studie, was sich nicht von der Inzidenz in der normalen Bevölkerung abhob (Coughlin 1995b).

4.1.4.7 Hypermobilität des ersten Strahls

Eine Hypermobilität des Metatarsale 1-Cuneiforme mediale-Gelenks und damit des ersten Strahls konnte nachgewiesen werden und trägt sehr wahrscheinlich zu vermehrter Adduktion und Varusstellung des Metatarsale 1 bei (Grace et al. 1999, Coughlin und Jones 2007). In einer Studie von Clark schienen insgesamt 93% der Patienten mit Hallux valgus eine Hypermobilität aufzuweisen (Clark et al. 1987) und eine Studie von Grebing konnte eine Korrelation signifikant beweisen (Grebing und Coughlin 2004).

4.1.4.8 Form und Länge des Metatarsale 1 und dessen Gelenke

Es konnte nachgewiesen werden, dass ein langer Metatarsale 1-Knochen in hohem Maße mit einer Hallux valgus Deformität korreliert. Eine Studie von Coughlin zeigte z.B., dass bei 71% der Patienten eine Überlänge des Metatarsale 1 mit einem Durchschnitt von 2,8mm mehr gegenüber dem Metatarsale 2 vorkam (Coughlin und Jones 2007). Eine andere Untersuchung bestätigt dies mit einem Mittelwert von 4mm unter den Patienten und von 2mm Differenz im Vergleich zu einer Kontrollgruppe (Hardy und Clapham 1951). Hier liegt ein Index plus laut Metatarsale-Index vor. Sehr wahrscheinlich scheint dieser Faktor gemeinsam mit zu engem Schuhwerk eine Rolle zu spielen (McCluney und Tinley 2006). Eine Index-minus Variante kann hingegen mit Auftreten starker Metatarsalgien unter dem MFK2 einhergehen, weshalb Operationen mit starker Verkürzung des Metatarsale 1 zu vermeiden sind (Slullitel et al. 2016).

Die Form des MFK und damit die Kongruenz mit der Gelenkfläche der proximalen Phalanx scheint ebenfalls eine Rolle bei der Entstehung des Hallux valgus zu spielen. So schreibt Fuhrmann über eine nach lateral abfallende distale metatarsale Gelenkfläche und eine sattelförmige dysplastische Deformität des MFK als prädisponierende knöcherne

Veränderungen. Eine nach medial abfallende distale Gelenkfläche des Os cuneiforme mediale scheint eine Subluxation des Metatarsale 1 ebenfalls zu begünstigen (Fuhrmann 2013). Man hat außerdem festgestellt, dass das weibliche Metatarsocuneiformegelenk zu erhöhter Beweglichkeit, vor allem im Sinne der Adduktion tendiert, was den Geschlechtsunterschied im Auftreten des Hallux valgus erklären könnte (Ferrari et al. 2004).

Hinzu kommen eine asymmetrische Phalanx proximalis, eine Hypoplasie der Cristae sesamoidea und ein mögliches Os intermetatarseum, die die Stabilität des Vorfußes verändern können (Fuhrmann 2013). Ebenso wichtig für den Schweregrad der Deformität scheint die laterale Subluxation der Sesambeine und die Rotationskomponente der Großzehe zu sein (Hardy und Clapham 1951).

4.1.4.9 Insuffizienz des Weichteilapparats

Instabilitäten des Muskel- und Bandapparates des Mittel- oder Vorfußes, wie sie z.B. beim Ehlers-Danlos-Syndrom, Trisomie 21 oder dem Marfan-Syndrom auftreten, prädisponieren zu einer Valgusdeformität der Großzehe. Vor allem das mediale Kollateralband des Metatarsophalangealgelenks scheint einen großen Einfluss auf dessen Entstehung zu haben. Es wurde herausgefunden, dass es signifikant eine erhöhte Laxizität bei den betroffenen Patienten aufwies. Grund hierfür war wahrscheinlich eine veränderte Kollagenzusammensetzung. Ob diese aber sekundär aufgrund der Deformität entstand oder als möglicher auslösender Mechanismus gilt, war nicht zu belegen (Uchiyama et al. 2005).

4.1.4.10 Andere Ursachen

Zusätzlich können neuromuskuläre Störungen, wie die Infantile Cerebralparese, Poliomyelitis oder Peronealspasmen und entzündliche Gelenkerkrankungen, z.B. die juvenile rheumatoide Arthritis grundlegende Ursachen für die Deformität sein (Fuhrmann 2013, Shi et al. 2000). Ebenfalls zu erwähnen ist ein signifikanter Beinlängenunterschied, der durch eine Pronation des längeren Beines versucht wird zu kompensieren, und bei dem es dadurch zu Achsabweichungen im Ober- und Unterschenkel und zu einer Fehlstellung im Großzehengrundgelenk kommen kann (Lynch und Marcinko 1994).

Gemeinsam haben wahrscheinlich viele dieser Ansätze, dass es durch sie zu einem Hyperpronationssyndrom sowohl des Vor- und Mittelfußes, als auch der Großzehe kommt. Diese Hyperpronation wiederum scheint der Auslöser für eine Imbalance des muskulären

Gleichgewichts zu sein und fördert wiederum die Instabilität des gesamten Fußes (Halebian und Gaines 1983, Lynch und Marcinko 1994).

4.2 Diagnostik

4.2.1 Klinische Beurteilung

Kinderfüße sind in rund 95% der Fälle bei Mädchen im Alter von 12-13 und bei Jungen mit 15 Jahren ausgewachsen (Fuhrmann 2013). Der typische Patient, der sich beim Kinderorthopäden wegen eines Hallux valgus vorstellt, ist zwischen 10 und 16 Jahre alt und weiblich (Lowery und Wukich 2009). Zumeist besteht die Deformität seit dem Kindergartenalter, stellte sich bis dahin aber asymptomatisch dar. Mit dem Eintritt in die Pubertät nehmen kosmetische Aspekte zu bzw. erfolgt der Arztbesuch wegen Schmerzen durch unpassendes modisches Schuhwerk und bei sportlichen Aktivitäten. Falls dies nicht der Fall ist, sind es zumeist die Eltern, die aus Angst vor einer weiteren Verschlimmerung des Befundes professionelle Hilfe aufsuchen (Fuhrmann 2013, Lynch und Marcinko 1994). Ausgeprägte Metatarsalgien, wie man sie vom adulten Hallux valgus kennt, treten seltener auf. Jedoch ist zu beachten, dass die Beschwerdesymptomatik in keinerlei Korrelation zu dem Ausmaß der Deformität steht (Zollinger et al. 1996). Zumeist existiert in der Familie eine positive Anamnese für die Hallux valgus- Deformität, wobei mindestens ein Eltern- oder Großelternteil betroffen sind oder waren (Cholmeley 1958).

Zur klinischen Beurteilung gehört zunächst die Anamnese, die alle oben beschriebenen Aspekte und Beschwerden erfragen sollte. Ebenso nimmt die klinische Untersuchung einen hohen Stellenwert ein. Zunächst sollte eine Untersuchung im Barfußstehen durchgeführt werden, bei der man die funktionellen Aspekte der Deformität beurteilen muss. Dazu gehört die Überprüfung des Fußlängs- und Quergewölbes. Meist besitzen Patienten mit einem Hallux valgus einen Knick-Senk-Spreizfuß, aber auch Hohlfüße konnten unter den betroffenen Probanden beobachtet werden (Pisani et al. 1998b, Rabl und Nyga 1994, Zollinger et al. 1996). Hilfreich ist es immer auch das Schuhwerk des Kindes und eventuelle Abnutzungsstellen zu examinieren. Schaut man auf den Mittelfuß, sollte seine Stellung gegenüber der Fußwurzel beurteilt und ein eventuell bestehender Metatarsus adductus (siehe Punkt 4.1.4.4) untersucht werden (Fuhrmann 2013, Coughlin 1995b). Im Bereich des Vorfußes wird vom Untersucher die Beziehung der Zehen untereinander beobachtet. Der klinische Hallux-valgus-Winkel der Großzehe ist immer unter Belastung zu bestimmen und nur dann sinnvoll zu bewerten. Eine

eventuelle Vergrößerung des Winkels unter Zehenspitzenstand sollte ebenfalls beurteilt werden. Ein möglicher Hallux valgus interphalangeus kann außerdem bei den jungen Patienten gefunden werden (Fuhrmann 2013). Oftmals dreht sich die Großzehe bei Erwachsenen in eine Pronationsstellung, was bei Kindern eher seltener und geringer in Erscheinung treten kann, aber durchaus vorkommt (Pisani et al. 1998b). Durch die Lateraldeviation der Großzehe können die angrenzenden Kleinzehen verdrängt werden. Sekundär kann es dazu kommen, dass die zweite Zehe sich als Digitus superductus über oder als Digitus subductus unter die erste Zehe schiebt. Somit verliert sie ihren Kontakt zum Boden oder wird zwischen Boden und Hallux eingeklemmt und kann an der Dorsalseite zu Beschwerden wie Schmerzen und Schwielen führen (Hefti et al. 2006). Die kleinen Patienten sollten sich einmal auf die Zehenspitzen und die Ferse stellen, um beurteilen zu können, ob die muskulären Strukturen funktionsfähig sind und sich die Deformität unter zusätzlichem Druck weiter verschlechtert. Beim Laufen des Kindes sollte man allgemein auf ein flüssiges Gangbild, harmonische Fußbewegungen, eine richtige Stellung von Hüft- und Kniegelenken und besonders auf die Deformität achten. Es kann dabei auffallen, dass das Kind kompensatorisch vermehrt über den Außenrand des Fußes abrollt (Rabl und Nyga 1994). Von dorsal sollte der Fersenvalgus, also die Rückfußstellung, die bis zu 10° betragen darf, beurteilt werden. Sie ist pathognomisch für den Knick-Senkfuß, der zwar in jungen Jahren noch physiologisch sein kann, sich später aber verwachsen sollte (Zollinger et al. 1996). Im Zehenstand kann hier beurteilt werden, ob eine Korrektur und Rückführung der eventuell vergrößerten Achse in die Varusposition vollzogen werden kann und somit ein flexibler Knick-Senk-Fuß vorliegt (Jani et al. 2009). Auffallend bei dieser Fußstellung ist, dass der erste und fünfte Strahl weiter hervortreten und es deshalb zu den bekannten Rötungen und einer Bursitis über dem Knochen kommt (Rabl und Nyga 1994).

Nach diesen Untersuchungen ist es ratsam den Patienten setzen zu lassen. Eine Besichtigung der plantaren und lateralen Mehrbeschwellung kann bereits viel über eventuell unpassendes Schuhwerk, druckschmerzhafte Stellen und plantare Druckverteilung verraten. Diese kann ebenfalls mit Hilfe eines Podoskops erfasst werden. Fast alle Patienten haben an der medialen Fußseite, über der Stelle des abgerutschten Mittelfußköpfchens eine gerötete, mit Hornhaut überzogene Pseudoexostose. Ein sogenannter Taylor's Bunion, also eine zusätzliche Abweichung des MT5 und eine konsekutive Rötung über dem MFK5 kann auftreten. An diesen Stellen kann es in engem Schuhwerk zu starken Schmerzen bei vermehrter Belastung kommen. Beurteilt werden sollten ebenfalls die Beweglichkeit des Fußes und die Stabilität der Gelenke. Zunächst werden die Streckung und Beugung im OSG ermittelt, weil z.B. eine Equinus-Fehlstellung des Fußes eine Instabilität im Mittelfußbereich hervorrufen kann (Farsetti et al.

1994, Hefti et al. 2006). Es folgt das Bewegungsausmaß des ersten Strahls. Sowohl im Metatarsophalangealgelenk, als auch im IP-Gelenk sollte der Bereich mittels Neutral-Null-Methode angegeben werden. Referenzwerte für Erwachsene können in der Literatur gefunden werden. Sie liegen für das Großzehengrundgelenk bei $70^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$ und für das IP-Gelenk bei $0^{\circ}/0^{\circ}/80^{\circ}$ (Hepp und Debrunner 2004). Eine größere Beweglichkeit ist bei subluxierten Gelenken zu erwarten. Falls das Gelenk dann manuell reponiert werden kann, kommt es meist zu einer Einschränkung im Bewegungsumfang (Lowery 2009).

Der Unterschied im Vergleich zum adulten Hallux valgus besteht nicht nur in der weniger vorhandenen Rotationskomponente, sondern auch in einer Minderbeteiligung der Weichteile, keinen gelenkdegenerativen Veränderungen und nur geringen Anpassungsvorgängen im Großzehengrundgelenk (Lynch und Marcinko 1994, Fuhrmann 2013, Hefti et al. 2006).

4.2.2 Radiologische Beurteilung

Generell ist es zur Beurteilung des weiteren Prozederes wichtig, ein Röntgenbild des Fußes anzufertigen. Dieses muss im Stand, also unter Belastung, als Anterior-posterior- und Seitenaufnahme angefertigt werden. Das Röntgenbild bietet die Möglichkeit neben den subjektiv klinischen Befunden, objektive Ergebnisse in die Therapieentscheidung einfließen zu lassen.



Abb. 3: Bestimmung des Hallux-valgus-Winkels (α), Intermetatarsalewinkels (β) und DMAA (δ)

Darunter zählen die im Folgenden beschriebenen Winkel und Maße, von denen die wichtigsten in Abb.3 (siehe S. 13) dargestellt sind.

4.2.2.1 Schweregradbestimmung

Die Bestimmung des Schweregrades einer Hallux-valgus-Deformität erfolgt wie in Tabelle 1 zu sehen anhand des Hallux-valgus- und Intermetatarsalewinkels.

Klassifikation

	Mild	Moderat	Schwer
IM-Winkel	11-15°	16-20°	>20°
HV-Winkel	21-30°	31-40°	>40°

Tab. 1: Schweregradenteilung des Hallux valgus anhand von HV- und IM-Winkel (Waizy 2014)

Zunächst ist der Hallux-valgus-Winkel von besonderer Bedeutung, da er das Ausmaß der Zehenabweichung im Metatarsophalangealgelenk widerspiegelt. Die Messung erfolgt zwischen Os metatarsale 1 und der proximalen Phalanx des ersten Strahls. Einige Autoren setzten den Grenzwert des Winkels auf über 15° (Hardy und Clapham 1951, McCluney und Tinley 2006). Die deutsche Leitlinie zum Hallux valgus entschied sich allerdings für einen Grenzwert von 20° (Fuhrmann 2013).

Anhand des IM-Winkels kann ein möglicher Metatarsus primus varus, der in starker positiver Korrelation zusammen mit einem großen Hallux-valgus-Winkel gefunden wurde, aufgedeckt werden (Houghton und Dickson 1979, Piggott 1960). Der Winkel wird durch das Os metatarsale 1 und 2 gebildet (siehe Abb. 3, S.13). Werte über 10° erscheinen pathologisch und müssen gegebenenfalls durch eine proximale Osteotomie korrigiert werden (Wülker und Mittag 2012).

4.2.2.2 Weitere wichtige Parameter zur Verfahrenswahl

- Hallux valgus interphalangeus Winkel

Eine Osteotomie der proximalen Phalanx ist indiziert, wenn ein Hallux valgus interphalangeus bei dem Patienten besteht. Deshalb sollte die Messung des Hallux-valgus-interphalangeus-Winkels zur routinemäßigen Diagnostik gehören. Er wird zwischen der proximalen und distalen

Phalanx des ersten Strahls gemessen und zeigt eine Fehlstellung im Interphalangealgelenk an (Grawe et al. 2012). Zumeist kann man bereits ohne ein Röntgenbild einen Hallux valgus von einem Hallux valgus interphalangeus unterscheiden. Bei Nichtbeachtung der Deformität kann es sonst zu einer Überkorrektur der Großzehe kommen. Der Winkel sollte unter 10° betragen (Chhaya et al. 2008).

- Distaler metatarsaler Gelenkflächenwinkel (DMAA)

Der distale metatarsale Gelenkflächenwinkel gibt eine Aussage darüber, ob eine distale Osteotomie des Metatarsale 1 indiziert ist. Er beschreibt die Beziehung der distalen Gelenkfläche zur Achse des MT 1 und sollte unter 10° betragen (Joseph und Mroczek 2007). Er ist vergrößert bei Individuen mit Hallux valgus, scheint allerdings nicht proportional mit dem Intermetatarsalewinkel anzusteigen (Jastifer et al. 2014, Canovas et al. 1998). Zumeist findet man bei jungen Patienten mit Hallux valgus eine noch kongruente Gelenkfläche des MT 1, allerdings einen erhöhten DMAA (Lowery und Wukich 2009). Die Größe des Winkels wird stark durch eine rotatorische Komponente der Großzehe beeinflusst und gibt in diesen Fällen keine sicheren Aussagen (Robinson et al. 2006).

- Kongruenz und Form des Metatarsaleköpfchens

Sowohl der DMAA, als auch die Kongruenz der Gelenkfläche haben Einfluss auf ein eventuelles Auftreten von Rezidiven (Crespo Romero et al. 2017). Letztere wird subjektiv anhand der aufeinander liegenden Gelenkflächen bewertet. Stehen diese Flächen nicht optimal zueinander, kann es zu einer Subluxation kommen. Dadurch ist die Beweglichkeit der Großzehe im physiologischen Maße betroffen und zusätzliche Schmerzen und Fehlbelastungen können auftreten (Fuhrmann 2013). Ebenso kommt es zu einer Freilegung des Gelenkknorpels und erhöhte Abnutzung ist die Folge (Chhaya et al. 2008). Aus diesem Grund stellt die Subluxation stets eine OP-Indikation dar.

Die Form des MFK spielt eine große Rolle in der Entstehung eines Hallux valgus. Kommt es bei einem flachen Köpfchen selten zu Subluxationen, kann eine konvexe Form diese begünstigen und stellt eine weniger stabile Variante des Köpfchens dar (Chhaya et al. 2008). Durch Ferrari und Malone-Lee konnte eine signifikant positive Korrelation zwischen dem Ausmaß des Hallux-valgus-Winkels und der Form des MFK beschrieben werden (Ferrari und Malone-Lee 2002).

- Der Sesambeinkomplex

Um die Lage der Sesambeine zu überprüfen, können neben der A.-p.-Darstellung auch axiale Schnitte, die sogenannte „Sprinter Aufnahme“ der Sesambeine von Nutzen sein. Die Gelenkfläche zwischen MT 1 und den Sesamkörpern ist medial größer als lateral, wobei sich das mediale zentral unter den ersten Strahl projiziert und das laterale lateral davon zu finden ist (Rosenbaum de Britto 1982). Normalerweise sollten die Sesambeine in den metatarsalen Sulci zu liegen kommen, doch beim Hallux valgus kommt es aufgrund der Rotation und Verlagerung des MT 1 bzw. den atypischen Zug der Weichteile zu einer lateralen Verschiebung vor allem des medialen Körpers (Talbot und Saltzman 1998, Thomas und Barrington 2003). Hardy und Clapham haben eine siebenteilige Skala zur Einteilung der Subluxation des medialen Sesambeines in Bezug auf die Achse des MT 1 entwickelt (Abb. 14, S.41). Dabei stellten sie fest, dass ca. 88% der Patienten einen Grad von mindestens 4 und die Kontrollprobanden zu 90% einen Grad unter 4 aufwiesen. Eine Subluxation der Sesambeine scheint also in großem Maße mit der Schwere einer Hallux valgus Deformität zu korrelieren (Hardy und Clapham 1951). Neuere Studien haben gezeigt, dass eine zusätzliche axiale Aufnahme vor allem bei den Zwischenstufen 4 und 5 von Vorteil wäre, da eine reelle Subluxation der Sesambeine in der A.- p.-Aufnahme nicht von einer Pronation der Großzehe zu unterscheiden ist (Catanese et al. 2014).

Einige Autoren fügen der Einteilung des Hallux valgus in Schweregrade den Subluxationsgrad des lateralen Sesambeines hinzu. Ist dieses weniger als 50% subluxiert, handelt es sich um eine milde, zwischen 50% und 75% um eine moderate und über 75% um eine schwere Deformation (Joseph und Mroczek 2007).

Als Nebentbefund ist beim Hallux valgus eine Bipartition des medialen Sesambeines signifikant öfter zu beobachten, als bei Kontrollprobanden (Yammine 2014). Diese Zweiteilung des Sesambeines ist im Falle eines Hallux valgus weder Resultat eines Traumas noch einer avaskulären Nekrose, sondern bedingt durch eine Anlagestörung. Signifikant häufiger tritt sie bei einer Index-plus Variante des MT I auf (Munuera et al. 2007). Postoperativ kann aufgrund der Kallusbildung die Lage der Sesambeine, falls diese nicht bei der Operation entnommen wurden, oft nicht genau bestimmt werden. Deshalb erscheint eine Evaluation dieses Parameters postoperativ nicht aussagekräftig (Saro et al. 2005).

- Metatarsale Protrusionsdistanz

Die metatarsale Protrusionsdistanz zwischen MT 1 und 2 wird im Durchschnitt mit $\pm 2\text{mm}$ angegeben (Lowery und Wukich 2009). Studien haben gezeigt, dass diese Distanz bei juvenilen Hallux valgus-Patienten mit ca. $+2,4\text{ mm}$ signifikant größer ist als bei Kontrollprobanden und damit eine Index plus Variante darstellt (siehe Abb. 4) (Coughlin und Jones 2007). McCluney geht sogar davon aus, dass dieser Parameter als einziger zur Vorhersage einer Hallux valgus Deformität geeignet ist und eventuell als Ursache für die Entstehung in Frage kommen könnte (McCluney und Tinley 2006).



Abb.4: Metatarsus-adductus-Winkel (ϵ) und Metatarsale Protrusionsdistanz (d) mit Scheitelpunkt (S) der Kreisbögen

4.2.2.3 Radiologischer Ausschluss anderer Fußdeformitäten

- Der Metatarsus-Adduktus-Winkel

Der Metatarsus-Adduktus-Winkel gibt das Verhältnis der Fußwurzel zu den Metatarsalknochen an und sollte physiologischerweise unter 15° liegen. Ist der Winkel vergrößert, deutet

dies auf eine Adduktion des Vorfußes hin (Gentili et al. 1996). Es ist strittig, ob ein großer Winkel im Zusammenhang mit einer Hallux valgus Deformität steht (Ferrari und Malone-Lee 2003, Kilmartin et al. 1991, Coughlin 1995b, Banks et al. 1994), allerdings maskiert ein Metatarsus adductus einen vergrößerten Intermetatarsalewinkel, weshalb der Winkel zur Standarduntersuchung zählen sollte. Ebenso könnte er der Grund für postoperative Rezidive bei Kindern sein (Pontious et al. 1994, Dawoodi und Perera 2012b). Es gibt verschiedene Methoden, mit denen man diesen Winkel bestimmen kann. Dawoodi et al. haben in ihrer Studie herausgefunden, dass die Technik nach Sgarlato, der als Bezugspunkt das 4. Metatarsocuboidgelenk nimmt, am meisten Reliabilität aufweist (Dawoodi und Perera 2012b). Andere Autoren benutzen die abgewandelte Technik, indem sie das fünfte metatarsocuboidale Gelenk benutzen, wie es in Abb.4 auf S. 17 dargestellt ist (Dominguez und Munuera 2008).

- Kalkaneusbodenwinkel

Anhand des Kalkaneusbodenwinkels kann beim Patienten eine mögliche Plattfußdeformität in der lateralen Projektion ermittelt werden. Der Winkel verringert sich hierbei auf Werte unter 18°. Diese Auffälligkeit tritt ebenfalls bei einer Pronation des subtalaren Gelenks auf (Murley et al. 2009, McCluney und Tinley 2006). Man konnte allerdings keinen signifikanten Zusammenhang mit einer Hallux valgus Deformität oder ihrer Entstehung nachweisen (McCluney und Tinley 2006).

4.2.3 Fußdruckmessung

Die Diagnostik sollte mit einer Fußdruckmessung komplementiert werden. Dabei laufen die Patienten mittels Ein- oder Zwei-Schrittmethod oder in der Midgait-Variante über eine Sensorplattform. Es hat sich gezeigt, dass die beiden letzteren zu präferieren sind und deshalb fast ausschließlich angewandt werden, um einen möglichst physiologischen Abdruck zu erhalten (Meyers-Rice et al. 1994). Über die Plattform werden unter anderem Druckverteilungen, Maximaldruck, Maximalkraft, Kontaktfläche und -zeit bestimmt (Putti et al. 2008).

4.2.3.1 Geschichte

Die Grundlagen der heutigen Fußdruckmessung gehen auf Studien Ende des 19. bzw. Anfang des 20. Jahrhunderts zurück. Beely 1882 und Momburg 1908 analysierten die Druckverteilung des gesamten Fußes durch Abdrücke in Ton oder Gips. Erst 1934 gelang es Elftman ein System

zu entwickeln, bei dem ein zeitlicher Ablauf der Druckverteilung unter der Fußsohle dargestellt werden konnte. Die Konstruktion bestand aus einer Gummiplatte mit pyramidenförmigen Noppen, die auf einer Glasplatte zum Liegen kam. Beim Laufen über diese Konstruktion kam es zum Anpressen und Deformieren der Pyramidenspitzen gegenüber der Glasplatte, unter der eine Videokamera den zeitlichen Verlauf festhielt. Die Auswertung erfolgte durch Ausmessen der Deformierung und eines dazu geeichten Druckverhältnisses (Hennig 1990). Messungen dieser Art wurden in den 70er Jahren von Forschern wie Miura oder Betts und Duckworth wieder aufgenommen und mit einem Filmbild oder farbdensitometrischen Ausgabesystemen verknüpft (Betts et al. 1980, Debrunner und Jacobs 1998).

4.2.3.2 Heutige Messverfahren

Heute unterteilt man hinsichtlich zwei verschiedener Messverfahren. Das erstere, auf dem die emed[®]-Fußkraftmessplatte beruht, basiert auf einem Prinzip von Cavanagh 1980 (Cavanagh und Ae 1980). Dieses kapazitive Verfahren besteht aus einem Plattenkondensator, der mit einem elastischen Dielektrikum versehen ist. Durch Deformation und Abstandsänderung des Kondensators kommt es zu einer Kapazitätsänderung, die wiederum elektrisch gemessen werden kann (Putti et al. 2008).

Das zweite Verfahren beruht auf dem piezoelektrischen Effekt. Hier kommt es durch mechanische Verformung zu einer Ladung, die wiederum in elektrische Spannung umgewandelt und gemessen werden kann. Die so funktionierenden Sensoren können zur Messung von Kraft, Druck, Spannung und Beschleunigung eingesetzt werden (Hennig 1990).

4.2.3.3 Normale Druckverteilung und Bewegungsabläufe

Im normalen Stand verteilt sich der Hauptanteil des Drucks durch das Körpergewicht über das Tuber calcanei bzw. die MFK auf die Fußsohle und somit auf den Boden. Schaut man sich den Verlauf der Druckverteilung in Bewegung an, hilft die Verlaufslinie des COP (Center of Pressure). Diese wandert im normalen Fuß von der Fersenmitte über den Mittelfuß auf die MT 3 bis 4, um dann während der Abdruckphase am medialen Rand des Fußes zwischen erster und zweiter Zehe zu enden (Debrunner und Jacobs 1998). Die Fußdruckmessung zeigt bei gesunden Füßen eine Verteilung des Maximaldrucks auf 4 verschiedene Areale: den Hallux, die MT 2 und 3 und die Ferse (Bryant et al. 2000b).

4.2.3.4 Messungen an Patienten mit Hallux valgus

Studien an Hallux-valgus-Patienten haben gezeigt, dass es zu einem lateralen Transfer der Lastverteilung und einer verringerten Kontaktfläche kommt (Kernozek et al. 1997). Es wurden geringere Druckwerte unter der Großzehe und dem medialen Vorfuß gemessen (Koller et al. 2014). Der Spitzendruck unter den MFK 1-3 hingegen stieg signifikant an, was unter anderem zu späteren Metatarsalgien führen kann (Yamamoto et al. 1996, Milani und Retzlaff 1995). Ebenso kam es zu einer Proximalisierung des Druckes vom Vorfuß und somit der Großzehe auf den Mittelfußbereich (Blomgren et al. 1991). Operationen konnten bisher wenig an der plantaren Druckverteilung und der biomechanischen Belastung des Fußes verändern. Spitzendrücke über dem MFK 3 waren postoperativ sogar fast doppelt so hoch als im Normalkollektiv (Milani und Retzlaff 1995). Die Druckverteilung zentralisierte sich bei operierten Patienten weiterhin im zentralen Vorfuß und eine Schonung der Großzehe wurde beobachtet (Saro et al. 2007b).

Fußdruckmessungen an Kindern wurden bisher nur an einem gesunden Normalkollektiv durchgeführt. Hier konnte gezeigt werden, dass es im Vergleich zu Erwachsenen zu verringerten Spitzendrücken kam und die relative Last vor allem im Mittelfußbereich signifikant höher war. Dies ist vermutlich auf ein noch schwach ausgebildetes Längsgewölbe zurückzuführen (Hennig und Rosenbaum 1991). Eine Medialisierung der Lastverteilung im Vorfuß konnte in der Entwicklung bei Kindern ab 6 Jahren nachgewiesen werden (Hennig et al. 1994). Ferrari et al. fanden in ihrer Studie, dass vor allem Mädchen eine deutlichere Medialverteilung des Druckes erfuhren. Ebenso scheint es, dass sie größere Spitzendrücke unter dem Hallux und eine kürzere Fersen-MT-Kontaktzeit im Vergleich zu Jungen erzielten. Es konnten somit deutliche Unterschiede in der Fußdruckmessung zwischen Mädchen und Jungen und damit eine mögliche Erklärung für geschlechterbevorzugende Pathologien, wie den Hallux valgus, bewiesen werden (Ferrari und Watkinson 2005).

4.3 Therapie

4.3.1 Konservative Therapie

Fast alle Patienten mit juvenilem Hallux valgus erfahren zunächst eine konservative Therapie, da man bei Kindern aufgrund der offenen Wachstumsfuge und dem noch im Wachstum befindlichem Fußskelett zurückhaltend mit der Indikationsstellung zur Operation ist. Die Befundkontrolle sollte ca. zweimal jährlich stattfinden, um eine Verschlimmerung der

Deformität zu erkennen und Konsequenzen daraus zu ziehen. Besteht bereits eine Deformität, kann man durch die konservative Therapie während der Wachstumsphase versuchen, wuchsenkend einzuwirken. Nach Wachstumsstillstand ist lediglich ein symptomatisches Eingreifen möglich (Fuhrmann 2013). Die Fußendlänge ist durchschnittlich bei Mädchen mit 13 Jahren und bei Jungen mit ca. 15 Jahren erreicht (Baumgartner et al. 2001).

Eltern sollten zunächst auf die richtige Auswahl des Schuhwerks hingewiesen werden. Um Schmerz zu vermeiden, ist es wichtig, dass es passend in Länge und Breite, mit weitem Raum für die Zehen, und komfortabel ist. Damit soll kein Druck über den Bursae und drucksensiblen Stellen auftreten (Thomas und Barrington 2003). In der Altersgruppe von 3-12 Jahren bei Mädchen bzw. bis 15 Jahren bei Jungen sollten mindestens zweimal im Jahr neue Schuhe gekauft werden, da in dieser Zeit ein stetig lineares Wachstum der Füße bewiesen wurde. Eine Veränderung der Deformität kann dadurch allerdings nicht erzielt werden (Lynch und Marcinko 1994). Jenseits dieses Alters scheint die Beeinflussung durch die meisten konservativen Methoden nicht mehr gegeben zu sein. Dann können nur noch dehnende Effekte auf die Muskulatur und Bänder angewandt werden (Cheng et al. 1997). Ebenfalls sollten Kinder Schmerz hervorrufende Aktivitäten einschränken (Lowery und Wukich 2009).

Unter die konservative Therapie fallen je nach Ursache der Entstehung und Schweregrad des Hallux valgus viele Formen. An erster Stelle stehen dabei bei leichten Formen der Einsatz von Physiotherapie zur Antikontraktur und Nichtsteroidalen Antirheumatika gegen eventuelle Schmerzen. Orthopädiotechnisch folgt eine Einlagenversorgung gegen Knick-Senk- und Spreizfüße oder eine Zehenspreizerverordnung. Bei schweren Fällen muss die Therapie mittels Nachtlagerungsschienen oder anderen flexiblen Orthesen gewährleistet werden (Waizy 2014). Führt dies ebenfalls zu keinerlei Beschwerdeverbesserung, muss an eine operative Versorgung gedacht werden. Wichtig ist es bei der Auswahl des konservativen Verfahrens auf die Entstehungsmodalität der Zehenfehlstellung zu achten und diese zu beheben.

Bereits bei leichten Fällen kann die Verordnung von Physiotherapie sinnvoll sein, bei der es unter anderem durch manuelle Bearbeitung der Großzehe zu einer Mobilisierung des Großzehengrundgelenks kommen soll. Dies ist wichtig, da es vor allem im Rahmen der Subluxation zu einem Verlust der Dorsalflexion des Grundgelenkes kommt. Ebenso soll eine passive Redression und Dehnung der Zehe in die Normalstellung erfolgen. Wichtig ist die Physiotherapie allerdings auch im Sinne der Kräftigung des muskulären und ligamentären Apparates, die die Fuß-, aber auch Wadenmuskulatur betreffen sollte (Bayar et al. 2011). Bewiesen wurde die Wirkung der Physiotherapie bis heute nicht, allerdings konnte eine Studie

Hinweise darauf finden, dass die manuell-manipulative Behandlung der Großzehe einen genauso großen Effekt erzielen könnte, wie Nachtlagerungsschienen es können. Es ist sogar möglich, dass sie von Vorteil ist, da die Behandlung nachhaltigere Effekte nach Therapieende nach sich zieht (du Plessis et al. 2011).

Eine Einlagenbehandlung scheint nach heutigem Standard keinen entscheidenden Vorteil in der Korrektur des Hallux valgus zu bringen, sondern lediglich hinsichtlich einer Schmerzreduktion zu wirken (Tehraninasr et al. 2008). Kilmartin war der Ansicht, dass anti-pronatorische Einlagen weder zur Prävention, noch zur Behandlung der Deformität eingesetzt werden sollten, da sie in seiner Studie über einen Zeitraum von 3 Jahren nicht den gewünschten Effekt erzielten. Der Intermetatarsalewinkel blieb unbeeinflusst, wohingegen der Hallux-valgus Winkel sich sogar vergrößerte (Kilmartin et al. 1994). Dies konnte von weiteren Autoren unterstützt werden (Reina et al. 2013). Es erscheint, dass der Spreizfuß beim jugendlichen Hallux valgus nicht im Vordergrund steht, es allerdings nur bei diesem angebracht wäre, Einlagen zu verschreiben. In diesem Fall sollten sie das Quergewölbe unterstützen und die MFK abpolstern (Groiso 1992). Sinnvoll erscheint eine Verordnung bei Rückfußproblematik, wie dem Knick-Senkfuß (Fuhrmann 2013) oder postoperativ zur Verminderung von Rezidiven durch die Stabilisierung gegenüber deformierenden Kräften (Scranton und Zuckerman 1984).

Nachtlagerungsschienen scheinen signifikant für einen bestimmten Zeitraum die Beschwerdesymptomatik zu verbessern (Torkki et al. 2001). Indikation ist hierbei eine milde bis moderate Deformität (du Plessis et al. 2011). Angelegt werden sie um den Mittelfuß herum mit einem Ausläufer zur Großzehe, wie in Abb.5 auf S.23 zu sehen ist. Sie sollen die Adduktion der Großzehe verhindern und eine retrograde Kraft auf das MT 1 auswirken. Lateral sollen Kompressionskräfte und medial Traktionskräfte entstehen, um auf den noch jungen Knochen wachstumslenkend einzuwirken (Lynch und Marcinko 1994). Ebenfalls können so kontrakte Weichteile gedehnt werden. Der Nachteil dieser Konstrukte ist, dass sie aufgrund ihrer Starre oft nur über Nacht tragbar sind und somit die Anzahl der Tragestunden begrenzt erscheint. Anwendung findet die Schiene sowohl präoperativ im juvenilen Bereich oder auch postoperativ zur Sicherung des Operationsergebnisses. Es konnte gezeigt werden, dass die Kombination aus Beübung und Nachtlagerungsschienen bei ca. 50% einer Studienpopulation entweder den Intermetatarsalewinkel oder aber den Hallux-valgus-Winkel verringerten. Die Physiotherapie bestand aus passiver Dehnung des Kapselapparates des MTP-Gelenks und einem aktiven Training des M. abductor hallucis (Groiso 1992).



Abb.5: Hallux valgus Schiene von halluxsan® mit Krafteinwirkungen

Aus Silikon oder Thermoplast bestehende Zehenspreizer, die man in der Nacht oder aber integriert in Einlagen am Tag trägt, scheinen laut Studien ebenfalls einen positiven Effekt auf das Outcome und die Beschwerdesymptomatik zu haben. Sie werden heutzutage allerdings selten verordnet und sind hinter Physiotherapie und Einlagen sekundär. (Chadchavalpanichaya et al. 2017, Tang et al. 2002).

Zur konservativen Therapie gehört ebenfalls das Taping der Großzehe. Diese Technik funktioniert ähnlich der Nachtlagerungsschiene, ist allerdings flexibler und kann deshalb auch am Tag getragen werden. Allerdings wird dadurch im Vergleich die Wirkung ein wenig verringert. Es scheint zusammen mit Physiotherapie gute Effekte auf Schmerzen, Laufen und den Hallux-valgus-Winkel zu haben (Jeon et al. 2004, Bayar et al. 2011).

Kommt es unter konservativer Behandlung weiterhin zu Einschränkungen im Alltag, einem Progress der Deformität und Schmerzen, ist eine operative Therapie anzuraten. Durch sie kann die eigentliche Ätiologie angegangen werden und eine gegebenenfalls langfristige Korrektur erreicht werden. Torkki et al. fanden heraus, dass erwachsene Patienten, die sich einer Operation unterzogen hatten, ein besseres Outcome hinsichtlich Schmerzlinderung und Zufriedenheit angaben. Einlagen konnten nur knapp 50% der Studienprobanden überzeugen und die Ergebnisse unterschieden sich kaum zu den Patienten, die keine Therapie durchlaufen hatten. Allerdings war es für die generelle Zufriedenheit, nicht zuletzt auch aufgrund des Placeboeffekts, besser, wenn eine Therapie, egal welchen Ausmaßes, durchgeführt wurde (Torkki et al. 2001).

4.3.2 Operative Therapie

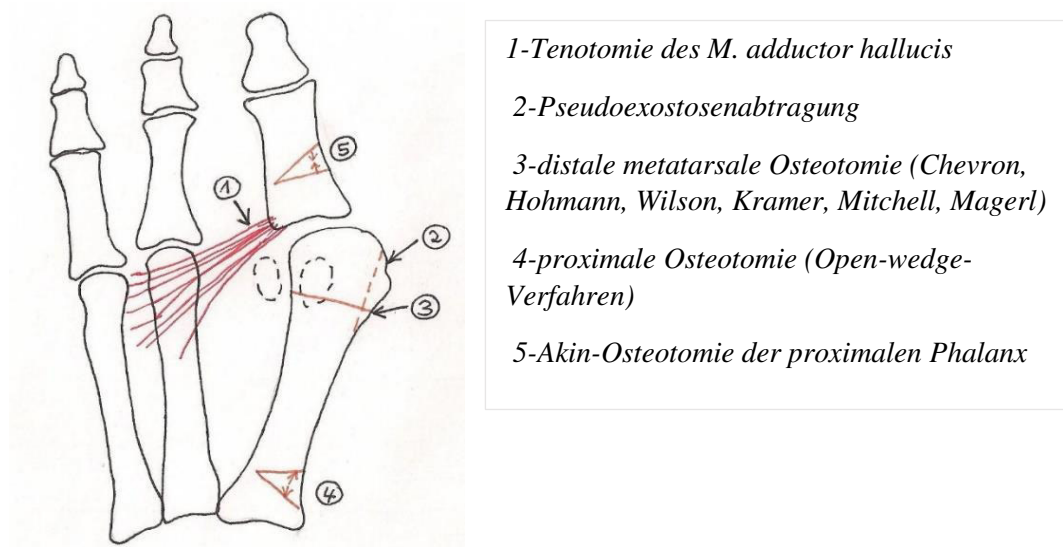


Abb.6: Überblick über Standardoperationsverfahren

Die Indikation zur Operation wird durch den erfahrenen Arzt anhand der Beschwerden und des Schweregrades des Hallux valgus gestellt. Die Schweregradeinteilung kann Tab. 1 (siehe Punkt 4.2.2.1) entnommen werden. Abb. 6 gibt einen Überblick über gängige Bestandteile der Operationen.

4.3.2.1 Aktuelle Verfahren in der Hallux valgus Chirurgie

- Distale Weichteileingriffe

Grundprinzip aller Weichteileingriffe ist es, eine Balance der periartikulären Muskeln, Sehnen, Kapseln und Bänder herzustellen. Silver, Hiss und McBride gaben Anfang des 20. Jahrhunderts die Vorlagen für heute noch durchgeführte Eingriffe (McBride 1928, Silver 1923, Hiss 1931). Die Ergebnisse mehrerer Autoren haben gezeigt, dass ein alleiniger Weichteileingriff in 24- 75% zu einem Rezidiv und zum Versagen der Operation geführt hat (Helal 1981, Scranton und Zuckerman 1984, Kitaoka et al. 1991, Bonney und Macnab 1952). Deshalb wird er meist mit anderen Verfahren kombiniert und nur bei milder Hallux-valgus-Deformität als Einzeloperation angewandt (Coughlin und Grimes 2005). Eine Kontraindikation stellt unter anderem ein kongruentes MTP-Gelenk dar, da hier keine Subluxation der proximalen Phalanx nach lateral vorliegt (Arbab et al. 2016).

Generell besteht die distale Weichteilrekonstruktion heute aus einer medialen Inzision, über die die mediale Pseudoexostose abgetragen wird, und einer lateralen Inzision im Zwischenraum

zwischen MT 1 und 2. Über diesen Zugang erfolgt eine Kapsulotomie, Ablösung des Lig. metatarsale transversum, Befreiung des lateralen Sesambeins von kontrakten Strukturen und ein Transfer der Sehne des M. adductor hallucis. Somit kommt es zu einem Release der kontrakten lateralen Strukturen. Medial wird eine Kapselraffung vorgenommen (Coughlin und Grimes 2005).

- Die Chevron Osteotomie

1981 das erste Mal von Austin erwähnt (Austin und Leventen 1981), zählt die Chevronosteotomie heute zu den Standardverfahren der Behandlung des juvenilen Hallux valgus (Grill et al. 1986). Ein Grund dafür ist die Aussparung der kindlichen Wachstumsfuge und somit ein verringertes Risiko für Wachstumsstörungen (Wülker 1997). Der Name entstammt der V-förmigen Osteotomie, wie sie in Abb.7 zu sehen ist und an ein amerikanisches Militärabzeichen erinnert. Austin beschrieb sie als “a horizontally directed "V" displacement osteotomy done in the head of the first metatarsal [...that] corrects most of the primus varus, the valgus tilt of the articular surface of the first metatarsal and, if present, the axial rotation of the great toe.” (Austin und Leventen 1981).

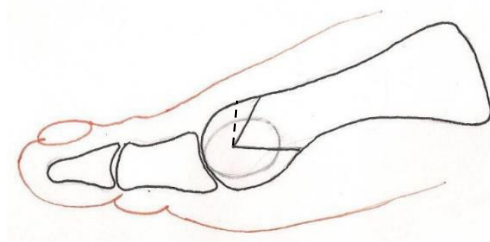


Abb.7: Position der V-förmigen Osteotomie am Metatarsaleköpfchen 1

Die Indikation besteht bei einem IM-Winkel zwischen 10° und 15° und einem HV-Winkel bis 30° . Ziel ist die Verringerung der Winkel und eine Lateralisierung des MFK 1. Das Verfahren zählt zu den distalen metatarsalen Osteotomien, von denen unter Punkt 4.3.2.2 weitere historische Varianten beschrieben werden sollen. Zunächst erfolgt eine mediale longitudinale Hautinzision über dem Großzehengrundgelenk (Jerosch und Heisel 2009). Anschließend wird die Gelenkkapsel L-förmig eröffnet und das Gelenk präpariert. Es erfolgt eine Bunionektomie medial durch einen Meißel oder eine oszillierende Säge (Resch 1998). Das MFK wird zentral mittels eines K-Drahtes angebohrt, was wiederum das Zentrum für die nach proximal offene V-Osteotomie darstellt. Zunächst erfolgt eine Osteotomie in plantarer Richtung in ca. 20° zur Längsachse, daraufhin wird der zweite Schenkel in einem Winkel von 60° (-90°), wie in Abb. 7 gezeigt, angelegt. Beide Osteotomien reichen bis durch die Kortikalis des Knochens, sodass

sich daraufhin ein freies verschiebbares Fragment ergibt. Die Mobilisierung dessen wird durch einen Spatel gewährleistet (Jerosch und Heisel 2009). Die Lateralisierung des freien Segments sollte um ca. 3-5mm erfolgen, allerdings nicht die Hälfte der Schaftbreite überschreiten (Resch 1998). Dieses Prinzip kann anhand Abb.8 nachvollzogen werden. Die Fixierung kann mittels K-Draht (Mann et al. 1992, Knecht und VanPelt 1981), oder Kortikalisschraube (Clancy et al. 1989) erfolgen. Von Austin wurde es allerdings als eine primär stabile Osteotomie entwickelt, was bedeutet, dass keine Fixierung notwendig wäre (Austin und Leventen 1981). Davon kam man aufgrund vermehrt erwiesener Pseudarthrosen in den 90er Jahren ab (Mann et al. 1992). In der Geschichte erfolgten mehrfach Modifikationen zur Erhöhung der Stabilität, so etwa von Youngswick 1982 (Youngswick 1982) oder Johnson 1994, der die plantare Osteotomie horizontaler einstellte und mit einer Schraube fixierte (Johnson 1994).

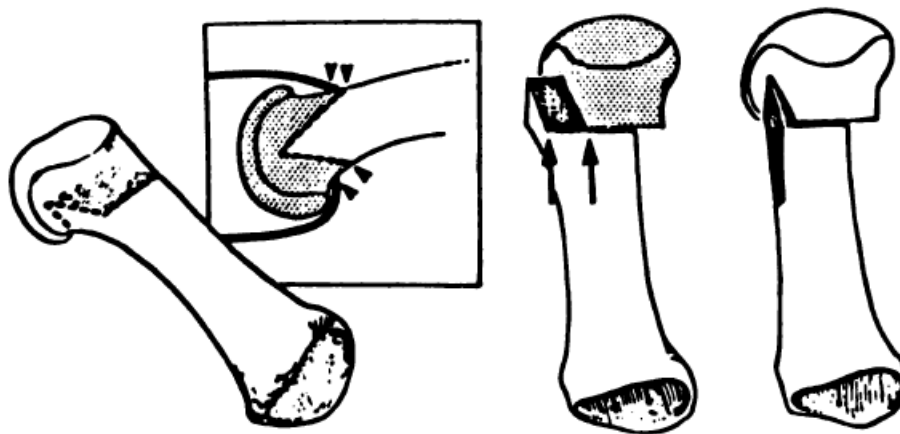


Abb.8: Prinzip der Chevron Osteotomie nach Klosok et. al 1993

- Proximale Osteotomien

Zu den proximalen Osteotomien gehört die sichelförmige (crescentic) und die Open-wedge-Osteotomie. Diese werden bei jungen Patienten mit schwerer Deformität, die einen IM-Winkel über 15° und einen HV-Winkel über $30-35^\circ$ aufweisen, durchgeführt (Wester et al. 2016). Hauptsächlich kommt die proximale Open-wedge Variante zur Anwendung. Das Prinzip kann Abb.6 auf S. 24 entnommen werden. Etwa 10mm distal des ersten tarsometatarsalen Gelenks wird eine mediale Osteotomie senkrecht zum Schaft unter Erhalt des lateralen Kortex angelegt. Die Osteotomie wird vorsichtig bis zur gewünschten Korrektur mit einem Spreizer eröffnet. Eine anschließende Fixation erfolgt über eine winkelstabile Platte und der Defekt wird mit Spongiosa gefüllt (Oravakangas et al. 2016, Walther et al. 2008).

- Doppelosteotomie

Die Doppelosteotomie ist ein Kombinationsverfahren von proximalem und distalem Eingriff und wurde aufgrund erhöhter Rezidivraten bei juvenilem Hallux valgus entwickelt (Smith und Coughlin 2009). Indiziert ist sie bei moderaten bis schweren Fällen mit erhöhtem DMAA. Optimalerweise sollen alle drei wichtigen radiologischen Parameter des Hallux valgus (HV-, IM-Winkel), vor allem aber der zu große DMAA verbessert werden. Dabei wird der IM-Winkel vor allem durch die proximale Osteotomie, der DMAA durch die distale beeinflusst (Al-Nammari et al. 2015). Ein Risiko besteht in der Überkorrektur des DMAA (Edmonds et al. 2015). Wird zusätzlich eine Akinosteotomie notwendig, kann auch von einer Tripleosteotomie gesprochen werden (Al-Nammari et al. 2015). In Anhang 4-9 ist eine bildhafte Darstellung zum Operationsverlauf der Doppelosteotomie zu finden.

- Akin Osteotomie

Die Operation nach Akin wurde 1925 das erste Mal von selbigem vorgestellt (Akin 1925). Sie beinhaltet eine Abtragung der Pseudoexostose am MFK 1 und eine mediale Keilosteotomie der proximalen Phalanx ungefähr 8mm distal des Metatarsophalangealgelenks. Dadurch kann der Hallux in eine gerade Stellung überführt werden (Steinbock und Leder 1988). Eine Fixation, am besten mit gekreuzten Kirschnerdrähten, gewährleistet eine hohe Stabilität der Osteotomie (Chacon et al. 2012). Es können allerdings ebenso Platten und Schrauben eingesetzt werden. Da die Operation nur die proximale Phalanx (siehe auch Abb.6, S.24) betrifft und keinen Einfluss auf den IM-Winkel besitzt, wird sie als alleiniges Prozedere nur zur Korrektur eines Hallux valgus interphalangeus eingesetzt. Um einen juvenilen Hallux valgus zu behandeln, muss sie mit anderen Standardverfahren kombiniert werden (Wülker und Mittag 2012).

- Diaphysäre Osteotomien des Metatarsale 1

Diese Eingriffe werden vorwiegend bei der mittelschweren Form des Hallux valgus durchgeführt, bei der der IM-Winkel Werte zwischen 15 und 20° annimmt. Ziel hierbei ist vor allem die Korrektur des Metatarsus primus varus, sowie eine Verbesserung der Stellung des MFK im Gelenk. Oft werden sie zur optimaleren Versorgung des Hallux valgus mit anderen Eingriffen, wie einem lateralen Weichteilrelease und einer medialen Kapselraffung kombiniert. Vorteile ergeben sich hinsichtlich der Blutversorgung des Metatarsalekopfes und der großen Knochenkontaktfläche, die eine gute Stabilisierung der Osteotomie ermöglicht. Im Vergleich zu proximalen Umstellungen ist allerdings nur eine geringere Korrektur der Zehenfehlstellung möglich (Dutoit 1998).

Die Scarf Osteotomie ist eine diaphysäre Osteotomie des MT 1, die auf eine Z-förmige Osteotomie von Meyer aus dem Jahr 1926 zurückgeht. Der Begriff Scarf stammt von einer Winkelverbindung für Balken, die Zimmerleute verwenden und kann mit „Laschung“ übersetzt werden (Lynch und Marcinko 1994). Generell ist sie bei moderaten Fehlstellungen der Großzehe mit einem IM-Winkel zwischen 15 und 20° und einem HV-Winkel über 40° indiziert. Zudem ist es bei dieser Operation möglich eine Verkürzung oder Verlängerung des ersten Schaftes zu erzielen (Jerosch 2009). Nachteilig ist, dass die Operation nur bei stabilen Knochenverhältnissen angewandt werden kann, weil sonst eine biomechanische Instabilität die Folge wäre. Hier eignet sich laut vielen Autoren die Ludloff Osteotomie besser (Dutoit 1998, Thermann 2004). Es erfolgt die Anlage eines dorsomedialen Zugangs von distal des Großzehengrundgelenks bis zum Tarsometatarsale-1-Gelenk, über den das MT 1 freigelegt und das Periost sparsam aufgespalten wird. Danach erfolgt die Resektion der Pseudoexostose mit einer oszillierenden Säge (Thermann 2004). Die Osteotomie wird zunächst parallel zum Schaft von der proximalen bis zur distalen Diaphyse angelegt. Hierbei hilft die Anlage von zwei parallelen Kirschnerdrähten an den Enden, um die Position und die Länge der Osteotomie festzulegen, Fissuren an den Schnitten zu vermeiden und die Osteotomieebene zu definieren. Der Knochen sollte im Verhältnis von 2:1 dorsal zu ventral geteilt werden. Um eine Z-Form zu erzielen folgen daraufhin eine plantar und eine zum Dorsum pedis gerichtete Osteotomie. Proximal sollte sie ca. 45° zum Längsschnitt angelegt werden, distal kann sie bis zu 90° betragen (Petersen und Seide 2000), wie in Abb. 9 schematisch dargestellt ist.

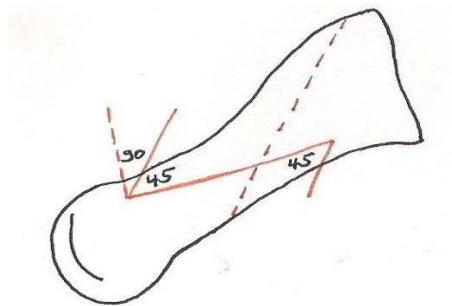


Abb. 9: Osteotomie des Metatarsale 1- Schaftes

Nach Mobilisierung mit einem Spreizer ist es nun möglich das laterale Fragment, also das MFK, bis zu $\frac{3}{4}$ der Schaftbreite zu translatieren, um die gewünschte Einstellung der Großzehe zu erzielen. Für einen Varisierungseffekt ist es wichtig, das distale stärker als das proximale Ende zu verschieben (Jerosch 2009). Zur Korrektur des proximalen Gelenkflächenwinkels ist es ebenfalls möglich, das plantare Fragment zu rotieren. Über ein kanüliertes Schraubensystem

kann die Osteotomie schließlich fixiert werden. Überstehendes Knochenmaterial sollte abgetragen werden, um Weichteilirritationen zu vermeiden (Dhukaram et al. 2006).

Bereits 1913 wurde eine andere diaphysäre Osteotomie nach Ludloff beschrieben. Dabei wird eine „schräge Osteotomie in einer Ebene, die schräg frontal von hinten unten nach vorne oben verläuft“, beschrieben (Wülker 1997). Myerson et al. modifizierte in den 1990ern die Technik, um mehr Stabilität zu erzeugen (Castaneda et al. 2013). Dabei wird die Osteotomie von dorsal proximal zu 2/3 durchgeführt und im Bereich der Metaphyse/Diaphyse eine kanülierte Schraube eingebracht. Nach Komplettierung der Osteotomie in plantarer Richtung dient die Schraube als Rotationszentrum für die Korrektur der Fehlstellung. Zur endgültigen Fixierung wird eine zweite Schraube eingebracht und beide festgezogen. Ein Vorteil dabei ist, dass die Osteotomie zu jedem Zeitpunkt der Operation stabil ist und der Knochen nicht verrutschen kann (Jerosch 2009). Diese Form der Therapie kann vor allem bei moderatem bis schwerem Hallux valgus und großen IM-Winkeln angewendet werden und führt zu guten Ergebnissen bei einem Metatarsus primus varus. Zusätzlich erfolgt keine Verkürzung oder Verlängerung der Großzehe (Thermann 2004).

4.3.2.2 Historische Operationsverfahren

- Operation nach McBride

Die Operation nach McBride ist ein Weichteileingriff am Metatarsophalangealgelenk. Die dabei vorherrschende Überlegung war, dass die Sehne des M. adductor hallucis eine der dominierenden Kräfte für die Deformation der Großzehe ist. Die Inzision erfolgt im ersten Interdigitalraum. Hier wird die Adduktorensehne von der Grundphalanx abgelöst, das fibulare Sesambein entfernt und die Gelenkkapsel lateral durchtrennt. Die Sehne „wird mit der lateralen Sehne des M. flexor hallucis brevis mittels einer transossären Naht dorsolateral am Metatarsale 1-Köpfchen fixiert“ (McBride 1928) und somit repositioniert. Über den lateralen Schnitt kann auch die mediale Kapselraffung und die Abtragung der Pseudoexostose erfolgen. Allerdings wird in einer modifizierten Form gerade bei jüngeren Patienten ein zusätzlicher medialer Schnitt empfohlen, weil der Adduktorenrelease hier perkutan durchgeführt werden kann (Wülker 1997). Die McBride Operation unterlag vielen Modifikationen, sowohl durch McBride, als auch viele andere Autoren (Meyer et al. 1987, Kempe und Singer 1985, Mittal et al. 2006). Heutzutage verzichtet man zum Beispiel auf die Resektion des Sesambeines, um eine Überkorrektur der Großzehe zu vermeiden (Schunck 2009a). Die Variante nach McBride wurde

zu Gunsten des sogenannten „soft tissue procedure“ (siehe Punkt 4.3.2.1.) heute weitestgehend verlassen (Wülker und Mittag 2012).

- Hohmann Osteotomie

Eingeführt 1923 war die Hohmann Osteotomie eine der ersten distalen Osteotomien in Europa. Er orientierte sich an der Ludloff'schen Variante, veränderte sie aber in Teilen so, dass das MFK supiniert oder plantarisiert werden konnte. Dadurch blieb seine Abstützfunktion erhalten (Hohmann 1922). Wie bei den meisten Osteotomien erfolgt der Hautschnitt medial von der Mitte der Grundphalanx bis zur Mitte des MT 1. Nach Präparation des Subkutangewebes folgt die Ablösung des M. abductor hallucis von der Grundphalanx und seine Freilegung bis zur Mitte des Metatarsaleschaftes (Resch 1998). Das Metatarsophalangealgelenk wird nicht eröffnet, was einen großen Vorteil hinsichtlich Bewegung und Infektionen darstellt. Die Osteotomie wird direkt retrokapital senkrecht zum Schaft des MT 1 ausgeführt. Mit der zweiten wird ein Keil so aus dem Knochen entnommen, dass sich die Basis medial und plantar befindet. Heutzutage wird dafür eine oszillierende Säge verwendet. Früher kam hingegen ein Meißel zum Einsatz. Der Winkel, in dem der Keil entnommen wird, sollte der gewünschten Korrektur entsprechen (Wülker 1997). Außerdem sollte er nur bis etwa zur Hälfte des Schaftes reichen, um eine Verkürzung der Großzehe zu vermeiden (Zollinger und Imhoff 1986). Schließlich wird der Metatarsalekopf nach medial gedreht und ca. um ein Drittel der Schaftbreite nach lateral verschoben. Ebenso kann bei Pronationsfehlstellung eine Supinationsbewegung erfolgen. Medial überstehende Kanten werden abgetragen. Früher wurde die Fixation mit zwei resorbierbaren Nähten vorgenommen. Heute dienen dazu Kirschner Drähte oder eine Zugschraube (Zollinger und Imhoff 1986). Der M. abductor hallucis wird medial an die Gelenkkapsel genäht, um diese zu verstärken und Spannung aufzubauen. Kontraindikationen der Osteotomie bestehen in einem inkongruenten Gelenk, einem IM-Winkel über 20° und einem Alter unter 16 Jahren, weshalb diese Osteotomie in der Regel in der Kinderorthopädie keine Anwendung findet (Wülker 1997).

- Wilson Osteotomie

1963 veröffentlichte Wilson seine Form der Osteotomie am MT 1 bei Hallux valgus Patienten (Wilson 1963). Hierbei wird der Zugang über eine kurze dorsomediale Inzision gewählt. Ein Teil der Kapsel und das mediale Kollateralband werden von der Pseudoexostose getrennt, die daraufhin reseziert wird. Danach wird eine doppelt schräge Osteotomie im 45°Winkel am distalen Drittel des Schaftes angelegt (Grace et al. 1988). Liegt diese Osteotomie zu proximal kann es zu unzureichender Korrektur kommen, liegt sie zu weit distal, kann eine verringerte

Mobilität im Metatarsophalangealgelenk resultieren (Yildirim et al. 2007, Helal 1981). Das distale Fragment wird daraufhin lateralisiert und leicht nach plantar verlagert. Dadurch findet eine Korrektur der Deformität statt und die Subluxation im Metatarsophalangealgelenk wird reduziert (Cetti und Christensen 1983). Grundsätzlich ist die Osteotomie instabil und muss danach im Unterschenkelcast immobilisiert werden (Wilson 1963). Vorteile der Osteotomie sind ein geringer Weichteilschaden und gute Korrektur der Deformität bei unkomplizierter Operationstechnik (Helal et al. 1974, Klosok et al. 1993, Ramanathan und Heywood-Waddington 1988). Allerdings kommt es zu einer Verkürzung des ersten Strahls von ca. 10mm (Klosok et al. 1993), was in Unzufriedenheit der Patienten und Metatarsalgie münden kann (Merkel et al. 1983).

- Kramer Osteotomie

Aufbauend auf Hohmanns Osteotomie verwendete Kramer seit 1972 eine schräge Osteotomie, die auf Höhe der Metaphyse, aber nicht bis in den Kopf reichend, angelegt wird (Kramer 1990). Auch hier wird ein Keil zur Korrektur der Zehenfehlstellung entnommen und der Metatarsalekopf nach lateral ungefähr 1-3mm verschoben (siehe Abb.10). Die Restkontaktfläche muss hierbei mindestens noch 0,5 cm² betragen. Neben der schrägen Osteotomie besteht ein weiterer Unterschied in dem von Beginn der OP an axial durch die Großzehe eingebrachten Kirschnerdraht zu Stabilisierungszwecken. Dieser wird um das Metatarsaleköpfchen geführt und durch die Osteotomie zur Fixierung gebohrt (Resch 1998, Wülker 1997). Generell kommt es durch die Verschiebung des Metatarsalkopfes zu einer Verlängerung der Großzehe. Dies kann durch die Entnahme eines Rhomboids anstelle eines

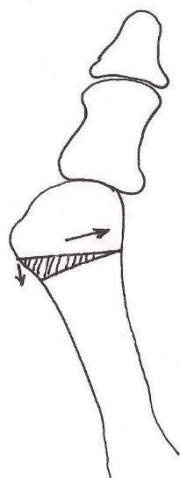


Abb.10: Prinzip der Kramer-Osteotomie am Metatarsale 1

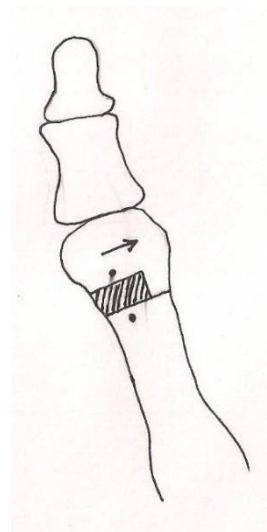


Abb.11: Prinzip der Mitchell-Osteotomie am Metatarsale 1

Keils ausgeglichen werden. Zusätzlich empfiehlt der Autor mögliche zusätzliche Verkürzungsosteotomien (Kramer 1990).

- Mitchell Osteotomie

Der Zugang erfolgt über einen Hautschnitt über der Pseudoexostose dorsomedial gelegen. Kapsel und Periost werden Y-förmig eröffnet und die Pseudoexostose abgetragen. Zur späteren Fixierung werden in der Urvariante von 1958 zwei Bohrlöcher jeweils proximal und distal von der retrokapitalen Osteotomie angelegt, wie in Abb.11 auf S.31 zu sehen ist (Mitchell et al. 1958). Die Osteotomie erfolgt quer zur Schaftachse über dessen gesamte Länge. Eine zweite wird in etwa 2-3mm Abstand distal parallel zur ersten, aber nicht bis zur Kortikalis der Gegenseite reichend durchgeführt (Wülker 1997). Bei Lateralverschiebung des distalen Fragmentes verkeilt sich der fibuläre Überstand mit dem proximalen Metatarsaleschaft. Dabei kommt es zur Verkürzung des Strahls. Deshalb erscheint eine solche Korrektur nur sinnvoll bei vorbestehender Überlänge des MT 1. Folgen einer zu starken Verkürzung können gehäufte Metatarsalgien sein (Shapiro und Heller 1975). Mitchell et al. haben bei ca. 32% ihrer Patienten postoperative Metatarsalgien feststellen können (Mitchell et al. 1958). Mit einer transossären Naht durch die vorbereiteten Bohrlöcher wird die Osteotomie verbunden (Mitchell et al. 1958). Da diese Form für eine frühe postoperative Belastung allerdings nicht indiziert ist, werden sowohl die Anlage von Kirschner Drähten (Szaboky und Raghaven 1969), als auch die Anbringung von Kleinfragment-Spongiosaschrauben durch andere Autoren empfohlen (Resch 1998).

- Magerl Osteotomie

Diese Osteotomie von Magerl aus dem Jahr 1982 zeichnet sich durch die Möglichkeit der freien Ausrichtung des Metatarsalekopfes in allen Ebenen aus (Magerl 1982). Anwendung findet sie bei leichten bis moderaten Fehlstellungen mit IM-Winkeln zwischen 10 und 15° und HV-Winkeln unter 30° (Schunck 2009c). Über einen medialen Hautschnitt wird eine Osteotomie proximal im Bereich zwischen Dia- und Metaphyse quer zum Schaft angelegt. Das MFK wird nach plantar und lateral verschoben, kann hierbei ebenfalls proniert und variiert werden bzw. zur Verlängerung oder Verkürzung des ersten Metatarsale beitragen (Frischhut et al. 1996). Unter Traktion wird es in einer Nut des distalen Schaftes verankert. Die Fixierung der Osteotomie erfolgt über eine Zugschraube (Wülker 1997). Da diese Technik sehr anspruchsvoll ist, wird sie eher selten und zumeist bei jüngeren Patienten verwendet (Schunck 2009c).

4.3.2.3 Operationen in der Erwachsenenmedizin bei Hallux valgus und rigidus

Viele weitere Operationsverfahren werden zur Behandlung des Hallux valgus eingesetzt. Nicht alle sind jedoch bei Kindern sinnvoll und zugelassen, sondern sollten teils aufgrund des deformierenden Eingriffs nur bei älteren Patienten Anwendung finden. Häufigere Indikation als der Hallux valgus ist hierbei der Hallux rigidus, also eine, aufgrund arthrotischer Veränderungen im MTP-Gelenk, in ihrem Bewegungsausmaß eingeschränkte Großzehe (Coughlin und Shurnas 2003).

- Resektionsarthroplastik

Ein Beispiel hierfür wäre die Resektionsarthroplastik nach Keller und Brandes, die Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelt wurde. Nach Freilegung der Gelenkfläche zwischen proximaler Phalanx und MT 1 wird ca. ein Drittel der Basis der proximalen Phalanx senkrecht zum Schaft mittels oszillierender Säge abgetragen. Es folgt eine Resektion der medialen Eminenz. Eine interne Fixation kann mittels Kirschner Drähten durchgeführt werden (Putti et al. 2012). Indiziert ist die Operation bei älteren Patienten mit hochgradigem Hallux rigidus. (Schunck 2009d). Im Rahmen eines Hallux valgus-Beschwerdebildes juveniler Patienten gehört diese Operation nicht mehr zu den Standardverfahren. Viele Komplikationen, unter anderem eine Verkürzung und Anhebung mit Funktionsverlust der Großzehe, Transfermetatarsalgien unter den MFK 2-5, eine Flexionsschwäche des ersten Strahls bis hin zu Osteonekrosen unter den MFK, wurden beschrieben und stützen den eingeschränkten Gebrauch des Operationsverfahrens (Schenk et al. 2009). Allein von Putti et al. wurde eine vorteilige erhaltene Beweglichkeit der Großzehe gegenüber Arthrodeseverfahren beschrieben (Putti et al. 2012).

- Arthrodesese des MTP-Gelenks

Eine Arthrodesese des Metatarsophalangealgelenks wird heutzutage in der pädiatrischen Orthopädie nicht mehr durchgeführt. Sie kommt im Erwachsenenalter zum Einsatz, wenn andere Korrekturingriffe fehlgeschlagen sind bzw. bei Hallux varus oder schweren degenerativen Veränderungen an der Großzehe. Auch bei schlimmsten Formen der Hallux valgus-Deformität findet sie Anwendung (Grimes und Coughlin 2006). Hierbei werden die beiden Gelenkpartner über eine dorsale Platte und eine Zugschraube miteinander verschraubt, wodurch es zu einer permanenten Korrektur, aber leider auch Einsteifung des Gelenkes kommt. Das MTP-Gelenk wird dabei in ca. 15-30° Dorsalextension und einem Hallux-valgus-Winkel von 5-15° fixiert (Schunck und Jerosch 2009). Problematisch sind eventuell auftretende Arthrosen der angrenzenden Gelenke. Oft kann durch dieses Verfahren allerdings ein

bestehender Schmerz gelindert und eine hohe Patientenzufriedenheit erzielt werden (Kumar et al. 2010, Berlet et al. 2008).

- Endoprothese des MTP-Gelenks

Eine Endoprothese wird dann eingesetzt, wenn Hallux-valgus-Voroperationen oder MTP-Arthrodesen fehlgeschlagen sind oder das erste MTP-Gelenk schmerzhafte, stark fortgeschrittene arthrotische Veränderungen aufweist. Dabei werden das MFK und die Basis der Phalanx proximalis reseziert und durch ein Implantat ersetzt (Schunck 2009b). Vorteil gegenüber einer Arthrodesen stellt die erhaltene Beweglichkeit und Länge dar (Kundert und Zollinger-Kies 2005). Ausnahmsweise kann sie als Ultima ratio im juvenilen Alter eingesetzt werden, wenn es zu rezidivierendem Implantatversagen kommt.

4.3.3 Nachbehandlung

Die richtige Nachbehandlung hängt vom jeweils verwandten Verfahren ab. Nach allen Operationen sollte allerdings eine frühe Vollbelastung angestrebt werden. Diese wird mit Hilfe eines Verbandsschuhs gewährleistet, der eine flache und rigide Sohle aufweist. Dieser Schuh sollte ca. 6 Wochen getragen werden. Gleichzeitig dient ein täglich gewechselter Redressionsverband zur Gewährleistung eines stabilen postoperativen Ergebnisses bei (Wülker und Mittag 2012). Ist keine gute Compliance gewährleistet, kann auch auf eine Hallux-valgus-Nachtschiene zurückgegriffen werden (Wülker 1997). Ein Vorfußentlastungsschuh hat sich bei gehäuften Frakturen nicht bewährt. Wichtig ist ein Abschwellen in den ersten Wochen, sodass in dieser Zeit auf eine regelmäßige Hochlagerung der Extremität geachtet werden sollte. Zusätzlich können lokale Kryotherapie und Lymphdrainage zur Anwendung kommen. Krankengymnastik sollte unter Traktion durchgeführt werden und eine Anleitung zur möglichst selbstständigen Beübung der Großzehe erfolgen (Schunck 2009a). Eine Materialentfernung ist nicht notwendig, solange es zu keinen materialbedingten Komplikationen kommt (Wülker und Mittag 2012).

5. Ziele der Arbeit

Primäres Ziel ist die Gewichtung funktioneller und ihr Zusammenhang mit radiologischen Parametern für die Diagnostik, Behandlung und Ergebnisbewertung beim idiopathischen Hallux valgus. Die Vorzüge der Fußdruckdiagnostik gegenüber eines Röntgenbildes zur Outcomebeschreibung sollen aufgezeigt werden. Dabei sollte die Bedeutung von Daten, die an einer Kontrollgruppe normiert wurden, hervorgehoben werden und die Priorität stärker auf dem Unterschied zum physiologischen Zustand zu liegen kommen. Zusätzlich wollten wir Unterschiede zwischen Chevronverfahren, Doppelosteotomie und rein proximaler Umstellung ermitteln, um Konsequenzen für das klinische Handeln ziehen zu können.

Des Weiteren war es Ziel die Fehlbelastungen präoperativ zu erkennen und sie mit den bereits vorhandenen Studien an adulten Patienten zu vergleichen. Zudem sollte aufgezeigt werden, inwieweit eine Operation diese Fußdruckparameter verbessern kann und ob es unter ihnen reliable Prädiktoren für das Outcome eines Eingriffes gibt.

Ein weiteres Ziel war es über einen Fragebogen die subjektive Einschätzung des Krankheitsbildes durch die jungen Patienten zu erhalten. Die individuelle Bewertung von Funktionalität, Schmerz und Beeinträchtigung im Alltag sowie bei sportlichen Aktivitäten sollte ermittelt werden.

Unsere Hypothesen waren:

- Es besteht eine gute Korrelation zwischen funktionellen und radiologischen Parametern, aber auch hinsichtlich des Schweregrades der Deformität bzw. dem klinischen Outcome.
- Eine präoperative Fehlbelastung besteht und diese kann durch das operative Verfahren verbessert werden.
- Fußdruckparameter geben eine bessere Aussage über die postoperative Funktion und somit Zufriedenheit der Patienten als bildgebende Verfahren.

6. Material und Methoden

Insgesamt unterzogen sich in den Jahren 2000-2016 116 pädiatrische Patienten am Waldkrankenhaus „Rudolf Elle“ in Eisenberg einer Operation des Hallux valgus. Nach Definition des juvenilen Hallux valgus wurden dabei alle Patienten bis 18 Jahre eingeschlossen. 78 (108 Füße) davon konnten in die klinische Studie eingeschlossen werden. Darunter wurde an 101 Füßen eine präoperative Fußdruckmessung durchgeführt, die in der Regel kurz vor der Operation stattfand. Das Durchschnittsalter betrug bei Operation $14,7 \pm 1,9$ Jahre (Median 15,0 Jahre, Max: 18,3 J./ Min: 10,0 J.). Es erfolgte zudem eine klinische und radiologische Untersuchung prä- und postoperativ. Zum präoperativen Zeitpunkt betrug der durchschnittliche BMI $20,1 \text{ kg/m}^2 \pm 3,05 \text{ kg/m}^2$ (Median $19,3 \text{ kg/m}^2$, Max: $27,7 \text{ kg/m}^2$ / Min: $14,8 \text{ kg/m}^2$).

Bei 52 Kindern und jungen Erwachsenen (63 Füße) wurden postoperative Messungen des Fußdrucks durchgeführt. Hier zeigte sich ein durchschnittlicher BMI von $21,1 \text{ kg/m}^2 \pm 4,22 \text{ kg/m}^2$ (Median $20,0 \text{ kg/m}^2$, Max: $35,0 \text{ kg/m}^2$ / Min: $15,8 \text{ kg/m}^2$) und ein Durchschnittsalter von $18,4 \pm 4,8$ Jahren (Median: 16,4 Jahre, Max: 27,4 J./ Min: 11,8 J.). Die unterschiedliche Anzahl zwischen prä- und postoperativen Werten kommt durch den langen retrospektiven Untersuchungszeitraum bzw. dadurch zustande, dass Fußdruckmessungen früher noch nicht standardmäßig zweizeitig durchgeführt wurden. Das gleiche gilt für die Röntgenbilder, die entweder nicht mehr im Archiv vorhanden waren oder in einer unbelasteten Variante durchgeführt wurden. Dadurch ergab sich, dass teilweise nicht das gesamte geforderte Material zur Verfügung stand.

Die 108 Füße wurden in 3 Gruppen anhand des Operationsverfahrens eingeteilt in:

- Chevron Gruppe (75 Füße)
- Doppelosteotomie Gruppe (24 Füße)
- Proximale Gruppe (9 Füße)

Hinzu kam eine alterskorrelierte Kontrollgruppe von 100 gesunden Füßen von Kindern und jungen Erwachsenen. Diese Kontrollgruppe wurde im Waldkrankenhaus „Rudolf Elle“ anhand von Mitarbeitern, ihrer Kinder und anderen freiwilligen Probanden ohne orthopädische Einschränkungen erstellt. Das mittlere Alter in der Kontrollgruppe betrug $18,3 \pm 6,0$ Jahre (Median 17,6 Jahre, Max: 28,8 J./ Min: 8,0 J.) und wurde auf das Alter der Patienten zur postoperativen Messung abgeglichen. Der durchschnittliche BMI in dieser Gruppe lag bei $20,9 \text{ kg/m}^2 \pm 3,4 \text{ kg/m}^2$ (Median $20,8 \text{ kg/m}^2$, Max: $30,5 \text{ kg/m}^2$ / Min: $13,2 \text{ kg/m}^2$).

Die Geschlechterverteilung betrug in der ursprünglichen Patientenpopulation 1:4 mit starker Präferenz des weiblichen Geschlechts.

Ausschlusskriterien stellten komplexere Fußfehlstellungen und gleichzeitige Veränderungen im Rückfuß dar. Ebenso wurden die Daten von Patienten mit eingeschränktem flüssigen Gangbild, unter anderem ICP-Patienten, nicht verwertet. Lagen als einzige postoperative Messung Daten vor, die innerhalb eines Zeitraums von weniger als 3 Monaten postoperativ gemessen wurden, wurden diese ebenfalls ausgeschlossen. Drei Patienten, die einen Hallux valgus interphalangeus aufwiesen und daraufhin behandelt wurden, wurden ebenfalls von der Studie ausgeschlossen. Somit ergab sich am Ende eine Stichprobenverteilung mit 7 männlichen und 71 weiblichen Patienten. Die Verteilung in der Kontrollgruppe betrug 62 Frauen zu 38 Männern.

Ein positives Ethikvotum der Ethikkommission des Universitätsklinikums Jena liegt vor.

6.1 Patientenaktenstudie

Aus den Patientenakten des Waldkrankenhauses Rudolf-Elle wurden folgende Daten erhoben:

- Patientenalter und -geschlechterverteilung
- Operationsart inklusive Operationsdatum und -seite, sowie Komplikationen
- Begleitdiagnosen
- Rezidivgeschehen
- Prä- und postoperative Klinik, insofern diese nicht durch eine Wiedereinbestellung kontrolliert werden konnte

6.2 Klinische Untersuchung und Anamnese

Die klinische Untersuchung beinhaltete Extension und Flexion im OSG, dem MTP-Gelenk und im IP-Gelenk der Großzehe beidseits. Ebenso wurden Schwielen, Pseudoexostosen oder Druckschmerz, Fersenvalgus, die Zehenstellung, insbesondere der klinische HV-Winkel und die Möglichkeit einer passiven Redression der Großzehe untersucht. In der Anamnese wurden die Patientenzufriedenheit und das Auftreten von Schmerzen erfragt. Der Erkrankungsbeginn, falls erinnerbar, sowie Einschränkungen bei Schuhkauf und Sport- und Alltagsaktivitäten sollte angegeben werden. Die Auswertung dieser Daten erfolgte anhand eines klinischen Scores. Zum Einsatz kam der AOFAS Score für den ersten Vorfußstrahl, der in Abb.12, S.38 dargestellt ist.

American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Score

Erster Vorfußstrahl / 1st Forefoot Ray

(Validierte deutsche Version, max. 100 Punkte)

Schmerz:	1: kein 2: leicht, gelegentlich 3: mittelmäßig, täglich 4: heftig, fast immer	☞ 40 Pkt. ☞ 30 Pkt. ☞ 20 Pkt. ☞ 10 Pkt.
Funktion: (Einschränkung der Aktivität)	1: keine Einschränkungen, keine Stütze/ Hilfe 2: keine Einschr. bei den tägl. Aktivitäten, Einschr. bei Freizeitakt., keine Hilfen 3: Einschr. bei den tägl. Aktivitäten/ Freizeitakt, Stock 4: starke Einschr. bei den tägl. Aktivitäten, Freizeitaktivitäten, Gehstütze, Krücke, Rollstuhl	☞ 10 Pkt. ☞ 07 Pkt. ☞ 04 Pkt. ☞ 00Pkt.
Schuhwerk:	1: modische Konfektionsschuhe ohne Einlagen 2: Konfektionsschuhe mit Einlagen 3: orthopädische Schuhe	☞ 10 Pkt. ☞ 05 Pkt. ☞ 00Pkt.
MTP-Beweglichkeit:	1: normal, oder leichte Einschränkungen (75%-100% von normal) 2: mäßige Einschränkungen (30%-74%) 3: massive Einschränkungen (weniger als 30%)	⊕ 10 Pkt. ⊕ 05 Pkt. ⊕ 00Pkt.
IP-Bewegung:	1: keine Einschränkung 2: stark eingeschränkt	⊕ 05 Pkt. ⊕ 00 Pkt.
MTP-IP-Stabilität:	1: stabil 2: eindeutig stabil	⊕ 05 Pkt. ⊕ 00 Pkt.
Schwiele am Hallux MTP-IP-Gelenk:	1: keine oder symptomlos 2: mit Symptomen	⊕ 05 Pkt. ⊕ 00 Pkt.
Achsenstellung:	1: gut, Zehen achsengerecht 2: mittelmäßig, gewisse Achsenabweichungen 3: schlecht Achsenfehlstellungen	⊕ 15 Pkt. ⊕ 08 Pkt. ⊕ 00 Pkt.

Abbildung 12: AOFAS Score für den ersten Vorfußstrahl

6.3 Patientenfragebogen

Zusammen mit der Einbestellung oder am Tag vor der Operation wurde allen Patienten ein Fragebogen ausgehändigt. Dieser kam außerdem in der kinderorthopädischen Sprechstunde bei konservativ behandelten Kindern und Jugendlichen zum Einsatz. Da es zur Evaluierung des juvenilen Hallux valgus bisher keinen validierten Fragebogen gibt, haben wir uns auf Teile der Visual Analog Skala Fuß und Sprunggelenk (VAS FA) (Stuber et al. 2011) des Krankenhauses Rummelsberg und des Foot Function Index (FFI) (Naal et al. 2008) gestützt und einen eigenen Fragebogen für das pädiatrische Patientengut entwickelt (Anlage). Augenmerk wurde hierbei vor allem auf die Funktionalität und Zufriedenheit im Alltag gelegt. Falls der Fragebogen postoperativ ausgefüllt wurde, sollten zusätzlich Fragen zu Beweggründen, postoperativen Schmerzen und Outcome beantwortet werden. Er sollte zur Komplementierung der Anamnese und Untersuchung dienen.

6.4 Röntgenbildanalyse

Standardmäßig wurde bei den Patienten ein prä- und postoperatives Röntgenbild des betroffenen Fußes angefertigt. Dies erfolgte zumeist in einem anterior-posterior und lateralen Strahlengang. Nicht immer waren alle geforderten Aufnahmen einer Person vorhanden oder die postoperative Aufnahme erfolgte nicht unter Belastung. Die Winkelberechnung erfolgte bei gedruckten Versionen über manuelle Einzeichnung und Auswertung der Winkel. Jüngere Bilder konnten mithilfe der impax[®]-Software der Firma Agfa[®] digital ausgemessen werden. Die folgenden Winkel wurden bestimmt.

6.4.1 Röntgenologische Beurteilung im anterior-posterioren Strahlengang

- *Hallux-valgus-Winkel*

Der Hallux-valgus-Winkel spiegelt vor allem das Ausmaß der Zehenabweichung wieder. Er wird, wie in Abb. 3 auf Seite 13 gezeigt, zwischen den Achsen des Os metatarsale 1 und der proximalen Phalanx des ersten Strahls gemessen. Hardy und Clapham haben in ihrer Studie herausgefunden, dass ihre Kontrollgruppe einen Mittelwert des HV-Winkels von ca. 15,5° aufwiesen, woraufhin viele weitere Autoren diesen Wert als unteren noch physiologischen Wert ansahen (Hardy und Clapham 1951). Andere Autoren setzen den Grenzwert auf ca. 20° (Fuhrmann 2013).

- *Intermetatarsalewinkel*

Wegweisend für die operative Vorgehensweise ist der Intermetatarsalewinkel. Er wird anhand der Schafthalbierenden der MT 1 und 2 bestimmt (siehe Abb. 3, S.13). Im normalen Fuß kann er Werte bis zu 8° annehmen, alles über 10° erscheint pathologisch (Tachdjian 1972). Der Winkel kann als Indikator für einen Spreizfuß fungieren.

- *Hallux-valgus-interphalangeus-Winkel*

Dieser Winkel wird zwischen der proximalen und distalen Phalanx (siehe Abb. 13, S. 40) des ersten Strahls mittels longitudinaler Schafthalbierenden gemessen und zeigt eine Fehlstellung im IP-Gelenk an (Grawe et al. 2012). Er sollte unter 10° betragen (Chhaya et al. 2008).



Abb.13: Hallux-valgus-interphalangeus-Winkel (μ)

- *Distaler metatarsaler Gelenkflächenwinkel (DMAA)*

Der DMAA ist der Winkel zwischen der Senkrechten auf die Schafthalbierende des MT 1 und der Linie an der Gelenkfläche des ersten MFK (siehe Abb.3, S.13). Normalerweise liegt dieser Winkel zwischen 0 und 8° in Abduktion des MT 1 (Lowery und Wukich 2009). Er ist vergrößert bei Individuen mit Hallux valgus, scheint allerdings nicht proportional mit dem Intermetatarsalewinkel anzusteigen (Jastifer et al. 2014, Canovas et al. 1998). Anhand dieses Winkels soll eine Aussage über das Ausmaß der Gelenkdeformität möglich sein (Park et al. 2016).

- *Metatarsus-adductus-Winkel*

Der Metatarsus-adductus-Winkel gibt das Verhältnis der Fußwurzel zu den Metatarsaleknochen, welche sich meist in einer Medialabweichung der Metatarsalia zeigt, an (Dawoodi und Perera 2012b). Normalwerte betragen hier bis zu 15° (Lowery und Wukich 2009). Es wurde die traditionelle Messtechnik, bei der das 5. Metatarsocuboidale Gelenk als Referenzpunkt diente, verwendet. Zunächst wurde eine Linie zwischen dem am meisten distal liegenden medialen Punkt des Os cuneiforme mediale und dem medialsten Punkt des talonavicularen Gelenks gezogen. Lateral folgte eine weitere Linie zwischen dem lateralsten Punkt des calcaneocuboidalen Gelenks und dem des 5. metatarsocuboidalen Gelenks. Die Mittelpunkte beider Strecken wurden verbunden und eine Senkrechte auf diese Strecke konstruiert. Der Winkel zwischen dieser Senkrechten und der Schafthalbierenden des MT 2 ergeben den Metatarsus-adductus Winkel (Dawoodi und Perera 2012a). Die Konstruktion des Winkels ist auch Abb. 4 auf Seite 17 zu entnehmen.

- *Metatarsale Protrusionsdistanz*

Bei normalen Füßen beträgt die metatarsale Protrusionsdistanz zwischen MT 1 und MT 2 im Durchschnitt $\pm 2\text{mm}$ (Lowery und Wukich 2009). Erhöhte Werte können mit Vorfußpathologien einhergehen. Zunächst wurde das Zentrum der Kreisbögen konstruiert. Hierzu dienten eine Linie zur Schafthalbierenden des MT 2 und eine diagonale tarsale Linie, die von der posterolateralen Gelenkfläche des Os cuboidale bis zur posteromedialen Gelenkfläche des Os naviculare verlief. Vom Schnittpunkt beider Linien wurden zwei Kreisbögen jeweils an den Kopf des MT 1 und MT 2 projiziert. Die Distanz zwischen beiden Bögen wurde gemessen (siehe Abb. 4, S.17). Besteht eine Überlänge des MT 1 handelt es sich um eine „Plus-Variante“, anderenfalls um eine „Minus-Variante“ (Osher et al. 2014).

- *Der Sesambeinkomplex*

Es wurde die Einteilung der Sesambeinposition nach Hardy und Clapham verwendet. Dabei wurde die Position des lateralen Sesambeines in Bezug zur Schafthalbierenden des MT 1 gesetzt und mit den in Abbildung 14 angegebenen Nummern bezeichnet. Eine Lateralisation bis Subluxation konnte hierbei ermittelt werden.

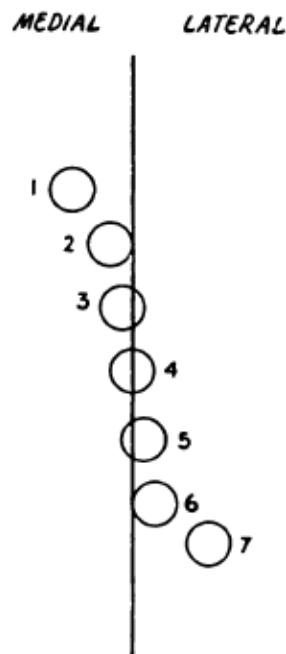


Abb. 14: Position der Sesambeine in Relation zur Schafthalbierenden des MT 1 nach Hardy und Clapham 1951

6.4.2 Röntgenologische Beurteilung im lateralen Strahlengang

Der laterale Strahlengang eignet sich zur Darstellung bzw. Diagnostik eines Senk- oder Plattfußes. Außerdem wird es ermöglicht eine Aussage über die Stellung der gesamten Fußachse zu treffen.

- *Kalkaneus-Boden-Winkel (calcaneal inclination angle)*

Der Kalkaneus-Boden-Winkel soll zur Beurteilung einer Plattfußdeformität oder Pronation im subtalaren Gelenk in der lateralen Projektion ermittelt werden. Dabei kann eine Verringerung des Winkels auf unter 18° auf diese Pathologie hinweisen. Normalwerte betragen $20-30^\circ$. Die Messung erfolgt analog zu Abb. 15 mittels einer Parallelen zum Untergrund und einer Linie, die den distalsten Punkt und die Prominentia des Calcaneus verbindet (Calcaneusachse) (McCluney und Tinley 2006).

- *Talokalkanealwinkel*

Dieser Winkel wird bei Platt- und Klumpfuß pathologisch verändert. Normalwerte liegen bei $35-50^\circ$. Gemessen wurde der Winkel wie in Abb. 15 anhand der Halbierenden durch Kopf und Hals des Talus (Talusachse) und der Calcaneusachse (Gentili et al. 1996).

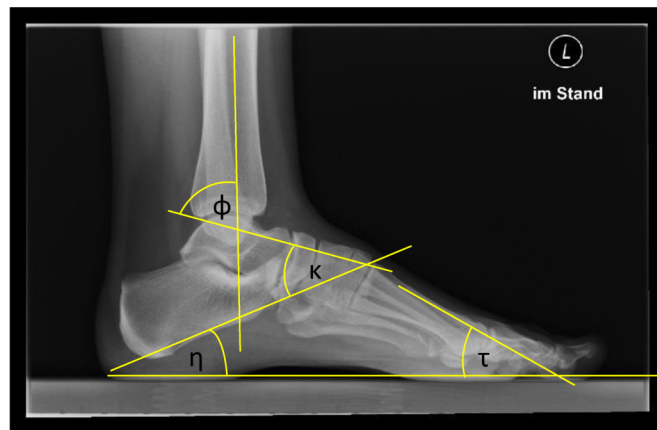


Abb. 15: Messung des Kalkaneusbodenwinkels (η), des Talokalkanealwinkels (κ), des MT1-Bodenwinkels (τ) und des sagittalen Tibiotalarwinkels (ϕ)

- *Metatarsale 1- Boden-Winkel*

Dieser Winkel wird zwischen der Parallelen zum Untergrund und der Schafthalbierenden des MT 1 im lateralen Strahlengang gemessen. Normalwerte liegen bei ca. 21° und sollten ungefähr genauso groß wie der Talus-Boden-Winkel sein. Ein Metatarsus primus elevatus kann durch die Messung ausgeschlossen werden (Gentili et al. 1996).

- *Sagittaler Tibiotalarwinkel*

Anhand dieses Parameters ist eine Aussage über die Stellung im OSG möglich. Ein vergrößerter Winkel gibt Hinweis auf eine Pes equinus- Deformität. Er wird mittels einer Mittellinie durch den Schaft der Tibia und die Talusachse definiert.

6.4.3 Subjektive Beurteilung

Neben den radiologisch messbaren Winkeln gehört zur Beurteilung des Röntgenbildes die Beurteilung von Kongruenz und Stellung im Metatarsophalangealgelenk 1.

- *Kongruenz im Metatarsophalangealgelenk*

Die Kongruenz der Gelenkfläche zwischen dem Köpfchen des MT 1 und der artikulierenden Fläche der proximalen Phalanx gibt eine Aussage über die Gelenkstellung. Scheinen beide Flächen annähernd parallel zueinander zu stehen, erscheint die Gelenkfläche kongruent. Mit Vergrößerung des Winkels nimmt die Inkongruenz der Gelenkpartner zu und eine Subluxation kann resultieren (siehe Abb. 16).



Abb. 16: Röntgenbild eines inkongruenten Gelenks

- *Subluxation im Metatarsophalangealgelenk*

Eine Subluxation im Metatarsophalangealgelenk, falls vorhanden, wurde registriert.

6.5 emed[®]-Fußdruckmessung

6.5.1 Aufbau und Durchführung

Die dynamische Messung der Fußdruckverteilung erfolgte anhand einer emed[®]-c50-Plattform der Firma Novel[®] (München). Durch die vom Hersteller mitgelieferte Software wird die Plattform gesteuert und kann die plantare Druckverteilung wiedergegeben werden. Dazu misst ein Rekorder die dynamische Druckverteilung während des Laufvorgangs. Gleichzeitig erfolgt



Abb. 17: Fußdruck-Messplattform „emed[®]-c50“

eine Kopplung zu einer Videokamera, die diesen filmt. Vor der Messung wurden Größe und Gewicht der Patienten bestimmt. Die Probanden wurden gebeten nach computergesteuertem Kommando barfuß auf einem 373 cm langen Laufsteg mit ebenerdig eingelassener 610 x 323 x 15,5 mm großer Plattform zu laufen. Diese ist in Abb. 17 zu sehen. Die Messung erfolgt automatisch über die emed[®]-Software, sobald der Fuß die Plattform berührt. Dies wurde wiederholt, bis pro Seite ca. 5 Messungen erfolgt waren. Dabei wurde darauf hingewiesen, dass die Probanden entspannt und möglichst nach vorne schauend ihr normales Gehtempo beibehalten sollten. Testläufe konnten von den Patienten durchgeführt werden. Während der Messungen wurde der Abstand zur Sensorplattform der jeweiligen Schrittgröße angepasst, sodass ein optimales Treffen dieser gewährleistet wurde. Keinesfalls sollte das Treffen der Plattform durch die Probanden durch Schrittveränderungen erzwungen werden. Mehrere Versuche erhöhten ebenfalls die Chance auf ein physiologischeres Gangbild, da ein Gewöhnungseffekt eintrat. In die 395 x 240mm große Sensorfläche der Plattform sind 3792 Sensoren eingelassen, was eine Auflösung von 4 Sensoren/cm² ergibt. Die Sensoren arbeiten als kapazitives System, was heißt, dass die Kapazitätsänderung eines elektrischen Kondensators

zwischen zwei Elektroden gemessen wird, die durch minimale Verschiebungen des Plattenabstands entsteht (Putti et al. 2008). Somit können Druckbereiche zwischen 10 und 1270 kPa und eine maximale Gesamtkraft von 120 000 N erfasst werden. Mit einer Frequenz von 50-60 Hz wurden die Daten gemessen und an die Computersoftware zur Auswertung versendet (novel 2014).

6.5.2 Auswertung

Über die vom Hersteller mitgelieferte Software „novel database m V.23.3.36“ konnte die Datenmessung und -erhebung durchgeführt werden. Abweichende bzw. unzureichend durchgeführte Messungen wurden sofort aus dem System gelöscht. Alle synchronisierten Daten konnten in Graphen oder Bildern wiedergegeben werden. Es erfolgte eine Mittelung der Maximalwerte, um eine zwei- und dreidimensionale Darstellung der plantaren Druck- und Kraftverteilungen, wie in Abb. 18 zu erhalten. Die Datenerhebung erfolgte anhand des erstellten „emed[®] professional“-Reports. Der Abrollvorgang konnte über eine Verlaufslinie, die sogenannte COP (Center of Pressure)-Linie, wie sie in Abb. 18 dargestellt ist, veranschaulicht

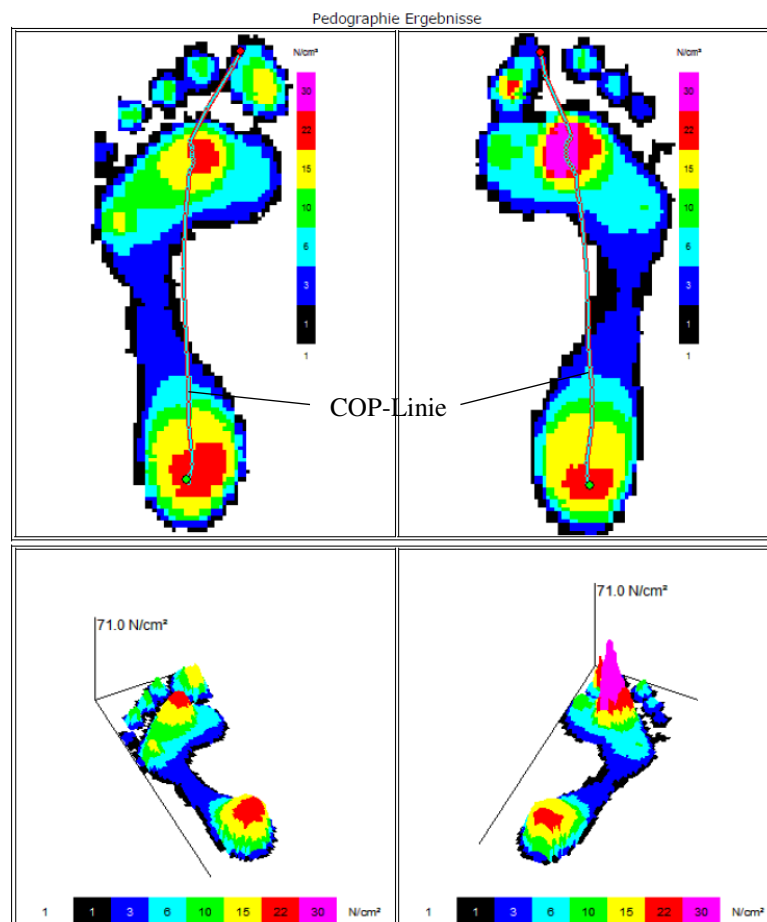


Abb. 18: Zwei- und dreidimensionale Darstellung der plantaren Druckverteilung mit COP-Linie

werden. Über eine Maske, wie in Abb. 19 gezeigt, wurde der Fuß in 10 Unterzonen (Ferse, Mittelfuß, MFK 1 bis 5, Großzehe, zweite Zehe und Zehen 3-5) gegliedert, von denen jeweils Kraftmaximum (N), Kraftmaximum bezogen auf das Körpergewicht (%BW (Body Weight)), Spitzendruck (kPa), Kontaktzeit (%ROP (Roll-Over-Phase)) und -fläche (cm²) bestimmt wurden. Diese Parameter konnten im Verlauf mit den radiologischen und klinischen Werten verglichen werden. Zusätzlich wurde über die Software der Hallux-valgus-Winkel, die Fußlänge und der Gewölbeindex von Operations- und Gegenseite berechnet. Eine manuelle Veränderung der Maske konnte bei stark von der Norm abweichenden Fußdeformitäten

notwendig werden. Beidseitige Messungen erlaubten die Möglichkeit zu intraindividuellen Vergleichen. Ein Vergleich von prä- zu postoperativer Fußdruckverteilung konnte durchgeführt werden. Dabei fand die Voruntersuchung im Alter von durchschnittlich 14,7 ± 1,9 Jahre (Max: 18,3 J./ Min: 10,0 J.) statt. Der Nachuntersuchungszeitraum betrug im Durchschnitt 3,7 ± 3,9 Jahre (Max: 11,8 J./ Min: 0,3 J.).

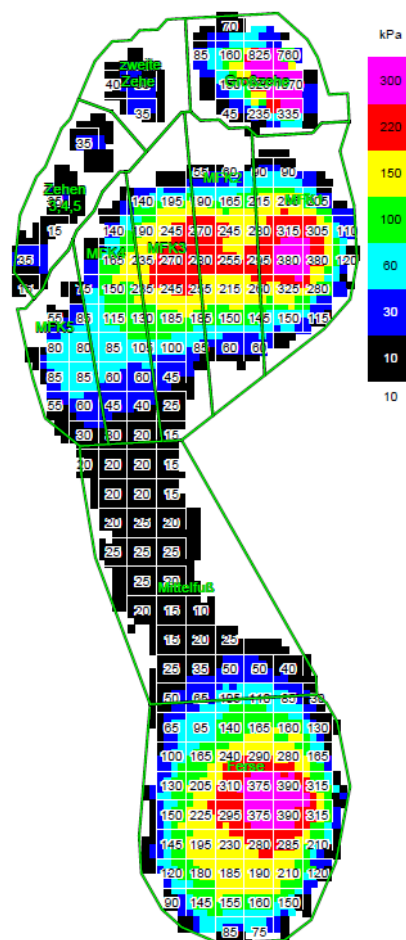


Abb. 19: Einteilung des Fußes in 10 Unterzonen

6.6 Statistische Auswertung

Für die Datenaufbereitung, -verwaltung und grafische Auswertung wurden die Programme IBM SPSS Statistics 24.0 und Microsoft Office Excel 2016 verwendet. Die statistische Auswertung erfolgte mittels IBM SPSS Statistics 24.0 unter mathematisch-statistischer Beratung. Bei den Grafiken handelt es sich zum großen Teil um gruppierte Balkendiagramme, die die Parameter für die verschiedenen Operationsverfahren bzw. die Kontrollgruppe veranschaulichen sollen. Des Weiteren wurden Boxplots angefertigt, an denen Median und Standardabweichung abgelesen werden können. Zunächst erfolgte ein Vergleich der prä- und postoperativen Werte für Klinik, Radiologie und Fußdruck. Die Prüfung auf Normalverteilung dieser Parameter erfolgte anhand des Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests. Da dieser für die Mehrheit der getesteten Parameter unter dem Signifikanzniveau von 0,05 lag, wurde insgesamt von einer nicht normalverteilten Stichprobe ausgegangen. Daraufhin kam der Wilcoxon-Test zur Signifikanztestung zwischen prä- und postoperativem Ergebnis zum Einsatz.

Als Test zur Auswertung signifikanter Unterschiede zwischen den Operationsverfahren wurde der Mann-Whitney-(U-)Test verwendet.

Um Abweichungen besser darstellen zu können, erfolgte eine Normierung der Fußdruckparameter auf die Mittelwerte einer gesunden Kontrollgruppe ($\overline{m_x}$). Diese Gruppe wurde zuvor aus einer historischen Vergleichsgruppe von Kindern und jungen Erwachsenen so zusammengestellt, dass das Durchschnittsalter mit dem der Patientengruppe zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung übereinstimmte. Zusätzlich wurde diese Differenz quadriert, um Unterschiede stärker hervorheben zu können. Die Normierung erfolgte für jeden einzelnen Parameter wie folgt:

$$p = (p_1 - \overline{m_x})^2$$

Für das Aufzeigen von Korrelationen wurde anhand einer bivariaten nichtparametrischen Korrelation nach Spearman-Rho der Korrelationskoeffizient und die dazu gehörige Signifikanz zwischen den klinischen, radiologischen und pedobarografischen Parametern bestimmt.

Abschließend erfolgte eine automatische lineare Regressionsanalyse mittels SPSS, über die die pedobarografischen Einflussgrößen auf ihren Vorhersagewert des AOFAS Scores, sowie postoperativer Funktion und Schmerz getestet wurden. Dies wurde für die normierten und nicht-normierten Werte, sowie die prä- und postoperativen Werte durchgeführt.

7. Ergebnisse

7.1 Ergebnisse der Patientenaktenstudie

7.1.1 Geschlechterverteilung

Eine Analyse der Geschlechterverteilung der initialen Patientenpopulation, die die Entlassungsdiagnose Hallux valgus juvenilis aufwies, ergab ein Verhältnis von 84 weiblichen und 24 männlichen Patienten. Nach Filterung anhand der Ein-und Ausschlusskriterien, sowie aufgrund von fehlenden Daten konnten 78 Patienten in die weitere statistische Auswertung einbezogen werden. Diese Patientenpopulation zeigte mit einem Verhältnis von 71 zu 7 eine noch stärkere Gynäkotropie (siehe Abb. 20).

Geschlechterverteilung

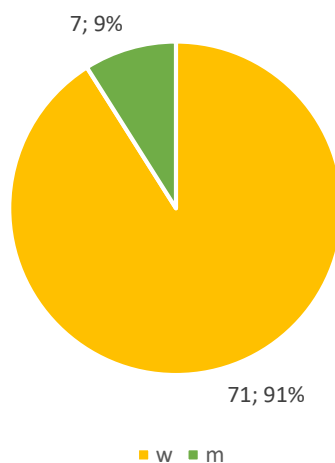


Abb. 20: Geschlechterverteilung der Studie zum juvenilen Hallux valgus

7.1.2 Altersverteilung

Das mittlere Alter bei Operation betrug $14,7 \pm 1,9$ Jahre (Max.: 18,3 J./ Min.: 10,0J.). Dabei ergab sich für die Chevrongruppe ein Mittelwert von $14,7 \pm 2$ Jahre (Max.: 18,1 J./Min.: 10,0 J.), für die Doppelosteotomiegruppe ein Alter von $14,8 \pm 1,8$ Jahre (Max.: 18,3 J./Min.: 11,2 J.) und für die proximale Gruppe $14,0 \pm 1,3$ Jahre (Max.: 16,3 J./Min.: 12,2 J.). Die Altersverteilung der Patienten über alle Operationsverfahren ist dem Histogramm in Abb. 21 auf S. 49 zu entnehmen.

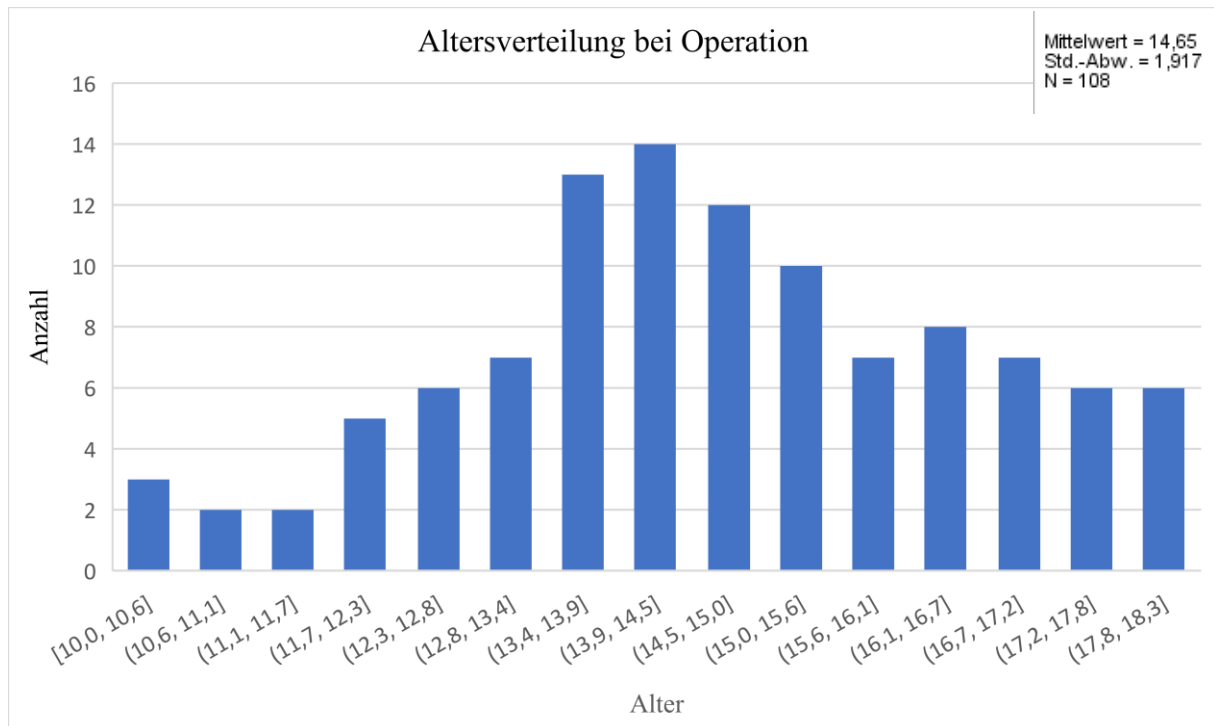


Abb. 21: Altersverteilung zum Zeitpunkt der Operation

7.1.3 Operationsseite

29 der 78 Patienten wurden mehrfach operiert. Darunter befanden sich 3 Patienten, die zweimal am selben Fuß und eine Patientin, die einmal am linken und zweimal am rechten Fuß operiert wurden. Die restlichen 25 Patienten unterzogen sich beidseitigen Eingriffen. Somit ergaben sich insgesamt 108 operierte Füße, die ein ausgewogenes Verhältnis zwischen 54 rechten und linken Operationen aufwiesen.

7.1.4 Behandlungsverteilung

Von den 78 Patienten unterzogen sich 54 Patienten einer Chevron-OP, 16 einer Doppelosteotomie und 2 einer rein proximalen Osteotomie. Bei 6 Patienten wurden unterschiedliche Operationstechniken an den Füßen verwendet bzw. musste eine Revisionsoperation mittels eines anderen Verfahrens durchgeführt werden. So ergaben sich insgesamt 108 Füße, von denen 75 mit einer Chevron-OP, 24 mit einer Doppelosteotomie und 9 mit einer proximalen Operation behandelt wurden (siehe Abb.22, S.50). Die Operationstechnik wurde dabei nach Erfahrung des Operateurs, Ätiologie und Grad der Deformität bestimmt.

Behandlungsverfahren

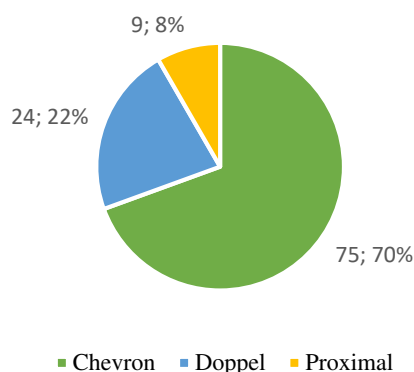


Abb. 22: Verteilung der angewandten Behandlungsverfahren

Rezidive und Revisionen

	Rezidive		Revisionen	
	Anzahl	Anteil in %	Anzahl	Anteil in %
Chevron	8	10,7	1	1,3
Doppel	3	12,5	1	4,2
Proximal	3	33,3	2	22,2
Gesamt	14	13,0	4	3,7

Tab. 2: Rezidiv- und Revisionsverhalten und deren Verteilung nach Operationsverfahren

Bei insgesamt 14 operierten Füßen kam es zu einem Rezidiv postoperativ. 8 davon entfielen auf die Chevronprozedur, und jeweils 3 auf die proximale und Doppel-Osteotomie. Die Prozentwerte sind Tab. 2 zu entnehmen. 4 von diesen Rezidiven wurden revidiert.

Bei jeweils einem Patienten kam es zur Neuombildung an der Narbe bzw. zu einer Großzehengrundgelenksluxation nach OP. Zwei Patienten entwickelten Wundheilungsstörungen und eine Nekrose durch Entzündung nach Doppelosteotomie.

Operationsdaten

Operationsverfahren		Mittelwert	N	Standard-abweichung	Minimum	Maximum
Chevron	OPdauer	65,3	74	19,7	38	140
	Liegezeit in d	11,3	75	3,1	2	18
Doppel	OPdauer	101,1	24	23,4	50	154
	Liegezeit in d	9,3	24	3,2	5	16
Proximal	OPdauer	85,1	9	26,3	62	145
	Liegezeit in d	7,6	9	4,1	2	13
Insgesamt	OPdauer	75,0	107	25,8	38	154
	Liegezeit in d	10,5	108	3,4	2	18

Tab. 3: Liegezeit und Operationsdauer gestaffelt nach Operationsverfahren

Zudem wurden die Liegezeiten in Tagen und die Operationsdauer in Minuten aus den jeweiligen Protokollen entnommen und in Tab. 3 zusammengestellt. Hier zeigte sich eine längere Operationsdauer bei der Doppelosteotomiegruppe, aber auch eine geringere Liegezeit im Vergleich zur Chevrongruppe. Insgesamt betrug die Operationsdauer der Patienten im Durchschnitt 75 ± 26 Minuten (Min.: 38 min/ Max.: 154 min) und die Liegezeit $10,5 \pm 3,4$ Tage

(Min.: 2d/ Max.: 18d). Statistisch signifikant unterschieden sich die Werte für die Chevrongruppe gegenüber der Doppelosteotomie und proximalen Gruppe. Dies ist in Abb. 23 grafisch dargestellt.

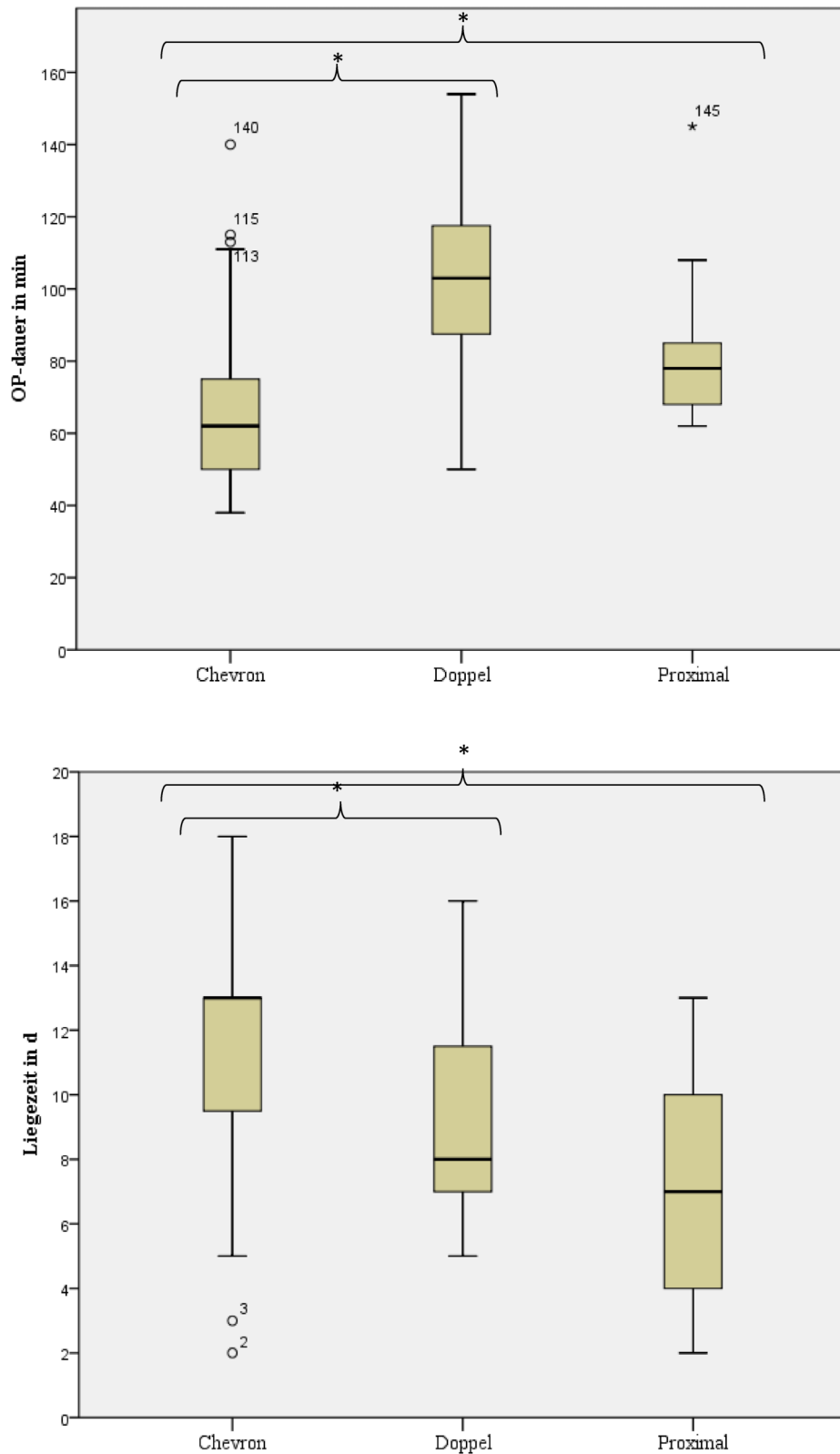


Abb. 23: Vergleich der Gruppen hinsichtlich Operationsdauer (min) und Liegezeit (d)
*-signifikant in einem 95%igen KI

7.2 Ergebnisse der klinischen Scores

Zur Beurteilung der prä- und postoperativen Klinik wurden verschiedene Scores angefertigt. Durchschnittlich wurde ein AOFAS Score präoperativ von $58 \pm 11,1$ Punkten (Max.: 85 P./Min.: 32 P.) erzielt. Postoperativ konnte dieser im Mittel um 22, also auf $80 \pm 14,9$ Punkte (Max.: 100 P./Min.: 42 P.) verbessert werden (siehe Abb. 24). Diese positive Tendenz konnte ebenfalls durch den Score nach Bonney und McNab unterstützt werden, bei dem die Patienten im Durchschnitt um einen Punktescore postoperativ besser abschnitten. Der AOFAS Score wird seinerseits noch einmal in die Unterpunkte Schmerz (40 Punkte), Funktion (45 Punkte) und Einstellung (15 Punkte) unterteilt. Der Punkt Funktion beinhaltet wiederum 6 Unterpunkte. Signifikanz konnte ebenfalls im prä- zu postoperativen Vergleich der Unterpunkte erzielt werden. Für das Item Schmerz kam es zu einer Punkteverbesserung von durchschnittlich 8 Punkten, bei der Funktionalität um 5 und die Achsenstellung verbesserte sich um ca. 9 Punkte.

Vergleicht man die einzelnen Behandlungsgruppen miteinander, wird die stärkste klinische Verbesserung in der proximalen Gruppe mit 24,6 Punkten erzielt, gefolgt von der Doppelosteotomiegruppe mit 22,6 und der Chevrongruppe mit 22 Punkten. Dabei lag in den beiden ersten Gruppen der präoperative Wert bei 55 und 56 Punkten, in der proximalen Gruppe bei 59 Punkten. Mit einem postoperativen Punktwert von 81,1 Punkten schnitt die Chevrongruppe im Endresultat am besten ab. Anhand des Mann-Whitney-U Tests zwischen den einzelnen Gruppen konnten die Unterschiede allerdings nicht als signifikant dargestellt werden.

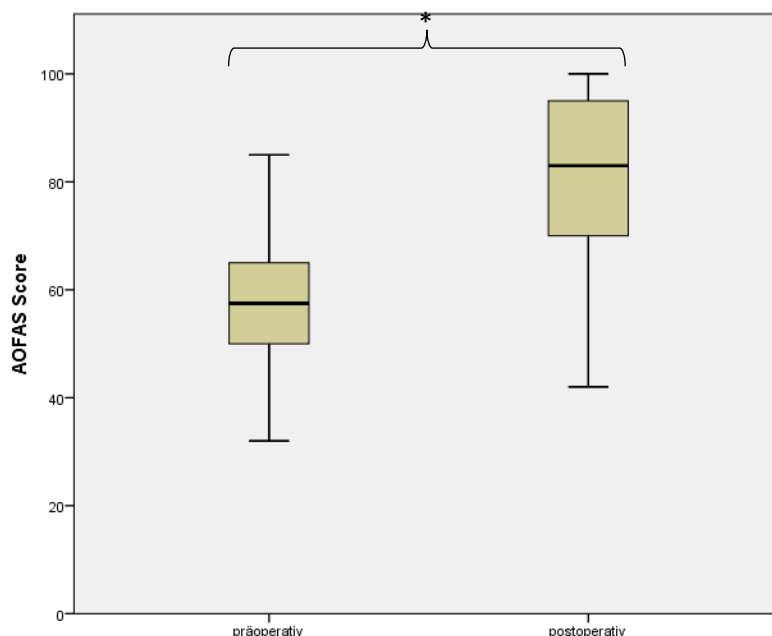


Abb. 24: Unterschied zwischen prä- und postoperativem AOFAS Score

7.3 Fragebogenauswertung

Der Fragebogen wurde von 32 operativ und 13 konservativ versorgten Hallux-valgus-Patienten ausgefüllt. Mehrfachantworten wurden erlaubt. Schwerpunkte der Befragung stellten Schmerz und Einschränkungen im Alltag dar. Unter den operativ versorgten Patienten befanden sich 4 männliche und 28 weibliche Teilnehmer. Ein ähnliches Verhältnis ergab sich in der konservativen Gruppe mit 2 zu 11 Patienten.

Angabe von Schmerzen in der OP-Gruppe

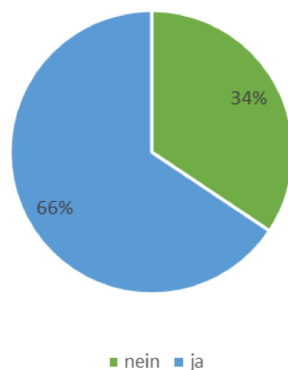


Abb. 25: Schmerzen in operierter Gruppe

Angabe von Schmerzen in der konservativ behandelten Gruppe

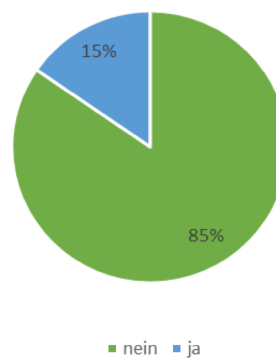


Abb. 26: Schmerzen in konservativer Gruppe

Wie in Abb. 25 und 26 zu sehen, wurden Schmerzen von ca. 66% der operierten Gruppe angegeben, in der konservativen Gruppe waren dies nur 15%. Über die Mehrheit gab dabei an, entweder bei langen Laufstrecken oder beim Sport diese Schmerzen zu empfinden. Am häufigsten wurden dabei Sprint- und Ausdauerläufe genannt.

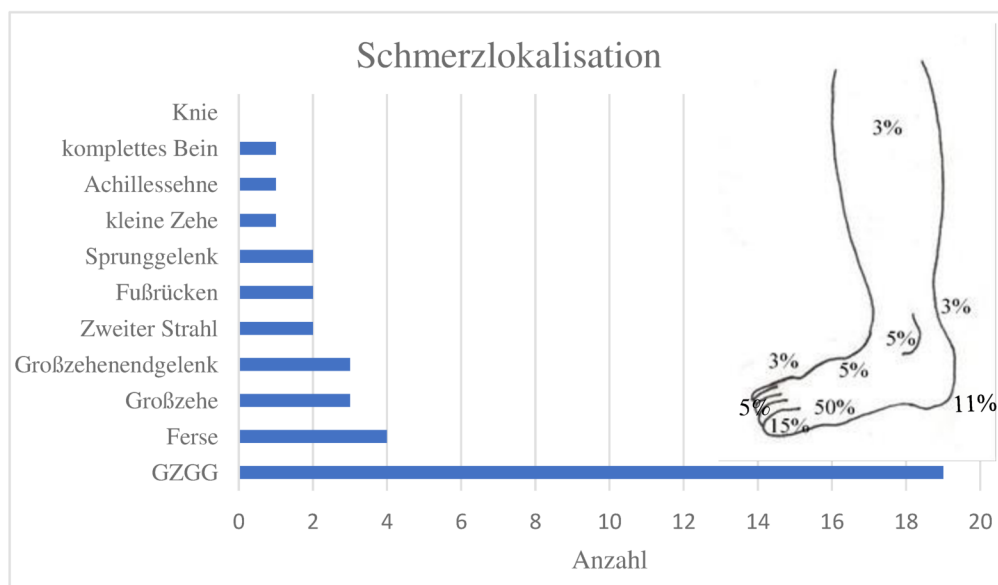


Abb. 27: Erfragte Schmerzlokalisierung in Anzahl und Prozent

In 50% der Fälle wird der Schmerz im Großzehengrundgelenk angegeben. Die restlichen Prozente teilen sich zu annähernd gleichen Teilen auf Hallux und Ferse auf. Abb. 27 auf S.53 veranschaulicht diese Verteilung. Schmerzen beim Barfußlaufen wurden lediglich von 28% der operierten Gruppe bejaht.

Bei der Funktionalität erzielte die konservativ behandelte Gruppe mit 76,7 Punkten in der Visual Analog Scale einen höheren Wert als die operierte Gruppe mit 73,2 Punkten. Schaut man sich allerdings die einzelnen Items an, wurde sowohl bei der Einschränkung im Alltag, als auch bei der Veränderung des Gangbildes ein schlechteres Ergebnis angegeben. Die operierte Gruppe schnitt schlechter beim Stehen auf einem Bein, Zehenspitzenstand und Laufen auf unebenen Gelände ab (siehe auch Tab.4). Probleme beim Treppensteigen bzw. -hinablaufen wurden so gut wie nicht angegeben.

Funktionalität

		Mittelwert	Median	Standardabweichung	Maximum	Minimum
Einschränkungen im Alltag	OP	74,22	82,50	27,27	100,00	5,00
	konservativ	69,55	75,00	29,50	100,00	0,00
Einbeinstand	OP	76,45	90,00	26,55	100,00	20,00
	konservativ	92,50	95,00	8,29	100,00	80,00
Unebenheiten	OP	72,90	85,00	27,11	100,00	20,00
	konservativ	78,08	90,00	23,90	100,00	35,00
Zehenspitzenstand	OP	71,50	80,00	25,99	100,00	20,00
	konservativ	79,58	97,50	25,61	100,00	30,00
Gangbild	OP	70,86	75,00	25,23	100,00	0,00
	konservativ	63,75	62,50	13,86	80,00	50,00
Funktionalität gesamt	OP	73,19	82,50	0,76	100,00	0,00
	konservativ	76,69	90,00	7,89	100,00	0,00

Tab. 4: Beurteilung der Funktionalität mittels Visual Analog Scale

In Hinsicht auf das Schuhwerk der Patienten konnte man dem Fragebogen folgendes entnehmen: Fast 70% der operierten Patienten können problemlos Turnschuhe und andere bequeme Schuhe tragen. Weitere 17% sind auf Schuhe mit Einlagen angewiesen. Nur 10% ist es möglich auch unbequemere engere Schuhe ggf. mit höherem Absatz zu tragen. In der konservativ behandelten Gruppe geben dies immerhin 15% der Patienten an. Dafür waren hier mehr Patienten (25%) auf Einlagen angewiesen.

Schwielen am Großzehengrundgelenk oder über der Kleinzehe wurden bei 26% der operierten Patienten beklagt. In der konservativen Gruppe war dies bei 15% der Fall. Steifheit der Großzehe wurde in beiden Gruppen nur von ca. 7% der Patienten angegeben. 52% der

operierten und 77% der konservativ behandelten Teilnehmer litten an keiner der beiden Symptome.

Insgesamt lag die Zufriedenheit der beiden Gruppen hinsichtlich der Kosmetik der Zehe mit 53 Punkten bei den operierten und 57 Punkten bei den konservativen im Mittelfeld. Deutlich besser schnitt die Chevrongruppe mit rund 62 Punkten im Vergleich zur Doppelosteotomiegruppe mit rund 50 Punkten ab.

In der operierten Gruppe wurde zusätzlich nach Beweggrund, Dauer der postoperativen Schmerzen, der freien Beweglichkeit der Großzehe und der Zufriedenheit mit dem Operationsergebnis gefragt. An erster Stelle der Beweggründe für eine Operation lagen Schmerz und Einschränkungen beim Gehen gefolgt von der Kosmetik der Großzehe. Mit dem Unterpunkt „ärztlicher Rat“ ist der Rat zu einer Operation des Hallux valgus nach Indikationsstellung durch den behandelnden Arzt gemeint. Die Anzahl der Nennungen ist Abb. 28 zu entnehmen.

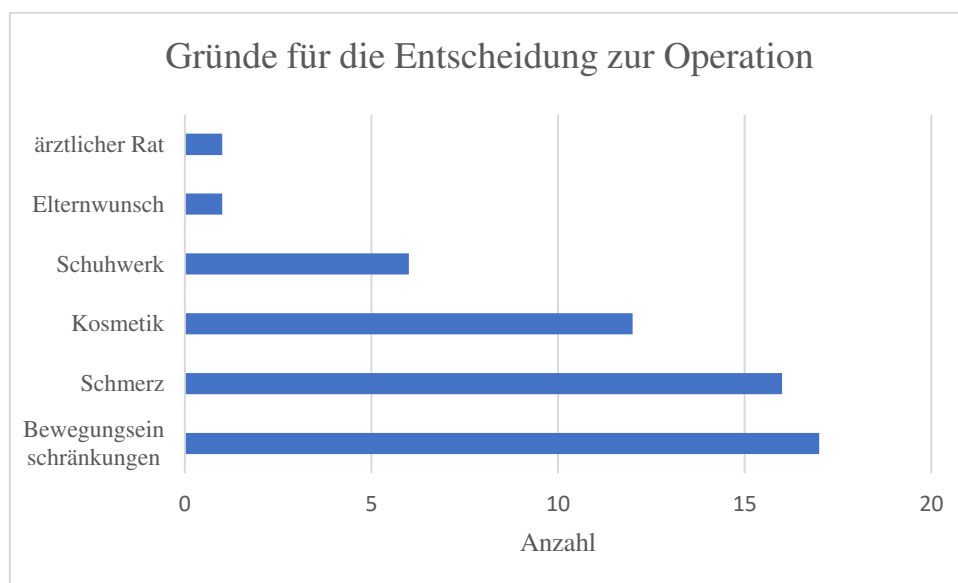


Abb. 28: Subjektive Beweggründe für die Entscheidung zu einer Operation

42% gaben an, etwa bis zu einem Monat postoperativ Schmerzen verspürt zu haben. Bei ca. 15% waren es 2 Monate, weitere 15% gaben 4 Monate an. Die verbleibenden Patienten gaben über mehr als 4 Monate hinweg Schmerzen an (siehe Abb. 29, S.56). 32% der Befragten beklagten ebenfalls, dass sie keine freie Beweglichkeit des Hallux im Zeitraum der Befragung besaßen. Die Zufriedenheit mit der Operation lag allerdings mit 69 Punkten deutlich höher als die zuvor gefragte Zufriedenheit mit dem Aussehen des Fußes.

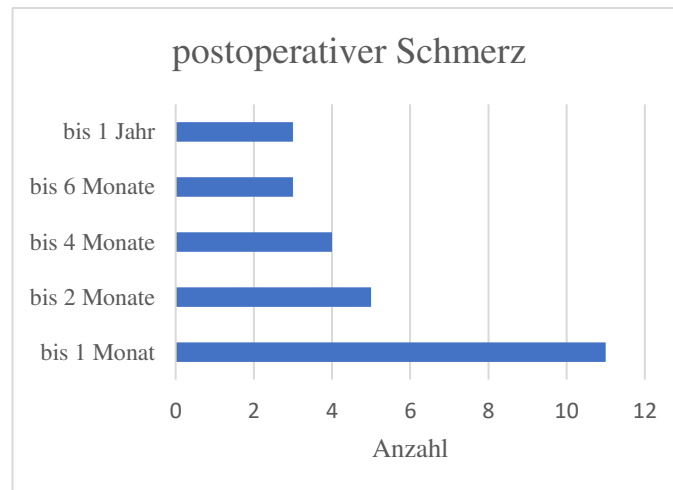


Abb. 29: Dauer des postoperativen Schmerzes

In einem Vergleich zwischen den Operationsverfahren konnten 19 Patienten der Chevronprozedur, 8 der Doppelosteotomie und einer der proximalen Osteotomie zugeordnet werden. 3 entfielen, da sie einer reinen Akinoperation unterzogen wurden. Die Doppelosteotomie schnitt hierbei im Rahmen der Funktionalität mit durchschnittlich 85 Punkten besser als die Operation nach Chevron mit 65 Punkten ab. Allerdings wurden das Aussehen des Fußes und die freie Beweglichkeit der Großzehe postoperativ schlechter eingeschätzt.

7.4 Ergebnisse der radiologischen Parameter

Im Rahmen der Studie wurden 101 (49 linke und 52 rechte) präoperative Füße und 95 (46 linke und 49 rechte) postoperative Füße ausgewertet. Der Unterschied zwischen prä- und postoperativer Anzahl kommt durch Unvollständigkeit der Akten bzw. postoperative Aufnahmen ohne Belastung des Fußes zustande. Diese Röntgenbilder wurden zur Winkelbestimmung nicht berücksichtigt. Der Nachuntersuchungszeitraum betrug im Durchschnitt $7,8 \pm 18,4$ Monate (Min.: 1,1 Mon.; Max.: 108 Mon.). Eine signifikante Verringerung der Werte für Hallux-valgus-, Intermetatarsale-, Metatarsale 1-5- und distalen metatarsalen Gelenkflächenwinkel, sowie die metatarsale Protrusionsdistanz (jeweils $p < 0,001$) konnte erzielt werden. Ebenso kam es zu einer signifikanten Vergrößerung des Hallux-valgus-interphalangeus-Winkels ($p = 0,034$). Postoperativ konnte die Kongruenz des Gelenks wesentlich verbessert und die Subluxationsneigung verringert werden. Außerdem kam es zu weniger Sklerosezeichen an den Gelenkpartnern. Die Mittelwerte prä- und postoperativ, sowie die Signifikanzen sind Tab. 5 auf S.56 zu entnehmen.

Radiologische Parameter

	Mittelwert präoperativ	Mittelwert postoperativ	Differenz	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Hallux-valgus-Winkel	33,01	20,93	-12,08	0,000*
Hallux-valgus-interphalangeus-Winkel	8,62	9,72	1,10	0,034*
Intermetatarsale-Winkel	13,88	10,61	-3,27	0,000*
Metatarsale-1-5-Winkel	28,94	26,41	-2,53	0,000*
Metatarsus-Adduktus-Winkel	16,70	16,71	0,01	0,921
Distaler metatarsaler Gelenkflächenwinkel	29,39	17,28	-12,11	0,000*
Metatarsale Protrusionsdistanz	1,36	-0,67	-2,03	0,000*
Calcaneus-Boden-Winkel	22,05	23,15	1,10	0,339
Metatarsale-1-Boden-Winkel	22,69	22,96	0,27	0,749
Talokalkaneale-Winkel	44,76	44,12	-0,66	0,584
Tibiotalare-Winkel	109,98	109,21	-0,77	0,666
Kongruenz	1,65	1,37	-0,28	0,000*
Subluxationsneigung	0,92	0,15	-0,77	0,000*
Sklerose	0,66	0,43	-0,23	0,000*

Tab. 5: Mittelwerte der radiologischen Parameter

Insgesamt konnte eine Verbesserung des HV-Winkels um 12,1°, also von 33,0° auf 20,9° durch eine Operation erzielt werden. Dabei schnitt die Gruppe der Doppelosteotomie mit einer durchschnittlichen Korrektur von 17,5° am besten ab. Am wenigsten konnte der HV-Winkel durch eine Chevronosteotomie mit durchschnittlich 10,3° beeinflusst werden. Hier zeigte sich auch der initial niedrigste HV-Winkel mit 31,5°.

Hinsichtlich des Hallux-valgus-interphalangeus-Winkels kam es zu einer signifikanten Vergrößerung durch eine Operation durchschnittlich um 1,1°. Diese war am deutlichsten in der proximalen Gruppe mit 2,3° und am geringsten in der Doppelosteotomiegruppe mit 0,3° ausgeprägt.

Der Intermetatarsalewinkel wurde am deutlichsten durch die Doppelosteotomie mit 6,2° verringert. Die Chevronosteotomie, bei der wiederum der initial niedrigste IM-Winkel zu finden war, konnte lediglich eine Korrektur um 2,1° vorweisen.

Mit einer Korrektur von ca. 5,4° wurde der Metatarsale 1-5-Winkel ebenfalls durch die Doppelosteotomie am stärksten beeinflusst. Im Vergleich dazu konnte eine Chevronosteotomie durchschnittlich nur eine Veränderung um 1,5° ergeben.

Der DMAA war initial mit 35,7° am größten in der proximalen Gruppe. Die größte Korrektur mit 17,2° konnte in der Doppelosteotomiegruppe erzielt werden. Damit lag der abschließende DMAA in der Doppelosteotomiegruppe bei 17,4° und somit in einem ähnlichen Bereich wie die Chevrongruppe mit 16,9°.

Die stärkste Verkürzung der metatarsalen Protrusionsdistanz wurde durch eine Chevronoperation mit -2,4° erzielt. Postoperativ kam es dadurch im Durchschnitt zu einem metatarsalen Minus-Index. Bei der Doppelosteotomie kam es zu einer Verkürzung um ca. 1,7° und es ergab sich daraufhin eine ± 0 -Variante für den metatarsalen Index. Bei der proximalen Operation kam es im Durchschnitt zu einer Längenänderung des MT 1 um +0,7°, wodurch eine zuvor bestehende Index-plus-Variante bestehen blieb.

Für die übrigen Parameter, wie den Metatarsus-Adductus-, den Calcaneus-Boden-, den Metatarsale-1-Boden-, den Tibiotalar- und den Talokalkanealewinkel ergaben sich keine signifikanten prä- und postoperativen Unterschiede.

7.5 Fußdruckmessung

In die Analyse der Fußdruckmessung konnten 101 präoperative und 63 postoperative Füße einbezogen werden. Es erfolgte, wie unter Punkt 6.5.2 beschrieben, die Auswertung unter dem Gesichtspunkt des Hallux-valgus-Winkels, Kraftmaximums in %KG, Spitzendrucks in kPa und der Kontaktzeit (%ROP) und -fläche (cm²). Zunächst erfolgte ein Vergleich der prä- und postoperativen Parameter. Der durchschnittliche Nachuntersuchungszeitraum betrug 44 ± 47 Monate. In Tab. 6 und 7 auf den Seiten 66 und 67 sind alle Mittelwerte und Standardabweichungen aufgelistet.

7.5.1 Prä- und postoperativer Vergleich

7.5.1.1 Hallux-valgus-Winkel

Eine signifikante Verringerung des Hallux-valgus-Winkels konnte auch pedobarografisch nachgewiesen werden. Hierbei lag allerdings bereits der präoperativ gemessene Wert bei 20,2°. Postoperativ erhielt man bei dieser Messung einen Mittelwert von 13,9°.

7.5.1.2 Kraftmaximum

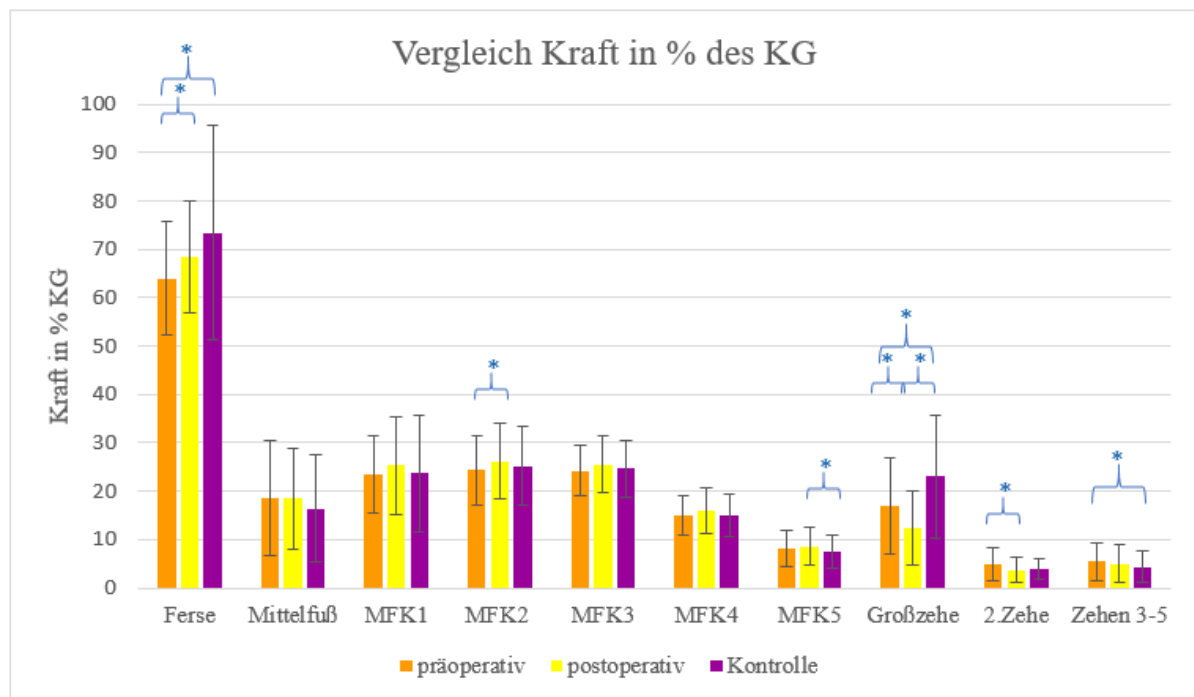


Abb. 30: Prä- und postoperativer Vergleich der Kraftmaxima in %KG mit Kontrolle

Für das Kraftmaximum in % des Körpergewichtes konnte eine signifikante Abnahme der Werte für den Hallux ($p=0,003$) und Digitus 2 ($p=0,012$) nach einer Operation nachgewiesen werden (siehe Abb. 30). Die bereits präoperativ niedrigen Kraftwerte unter der Großzehe verschlechterten sich weiter postoperativ im Vergleich zur Kontrollgruppe. Dies war vor allem für die proximale Gruppe auffällig. Für die zweite Zehe ergab sich eine positive Annäherung an die Werte der Kontrollgruppe, vor allem in der Chevrongruppe, wie Abb.31 auf S.60 zu entnehmen ist. Die Verschiebung der Maximalkraft erfolgte auf das MFK 2 ($p=0,017$) und die Ferse ($p=0,023$). Die Kraft unter der Ferse wurde vor allem durch eine Chevronoperation an möglichst physiologische Werte angenähert, wohingegen das MFK2 durch eine Doppelosteotomie die beste postoperative Belastung erfuhr. Eine proximale Operation erzielte die schlechtesten Kraftwerte postoperativ.

Im Vergleich zur Kontrollgruppe betrug das Kraftmaximum präoperativ unter der Ferse und der Großzehe mit $p<0,001$ signifikant geringere Werte. Größere Werte wurden unter den Digitus 3-5 ($p=0,033$) nachgewiesen. Im postoperativen Vergleich mit der Kontrollgruppe kam es zu signifikanten Unterschieden am Metatarsaleköpfchen 5 und der Großzehe. Hier konnten deutlich geringere Kraftmaxima unter der Großzehe ($p<0,001$) erzielt werden, wohingegen die Kraft unter dem MFK5 ($p=0,040$) größer als in der Kontrollgruppe war. Keine signifikanten

Unterschiede zwischen prä- und postoperativ, sowie zur gesunden Vergleichsgruppe ergaben sich hinsichtlich der Kraft unter dem gesamten Fuß und den Mittelfußköpfchen 1,3 und 4.

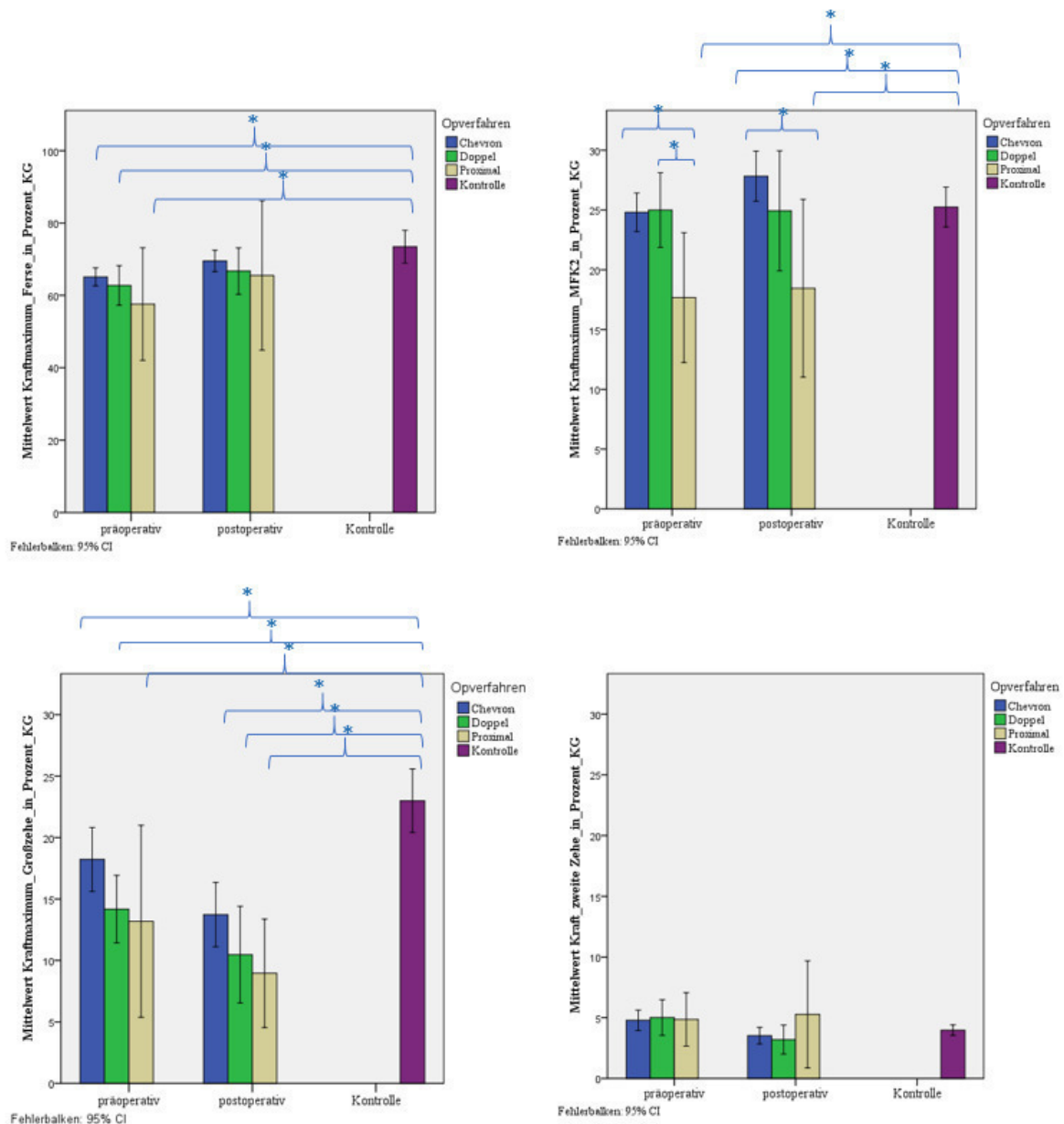


Abb. 31: Prä- und postoperativer Vergleich der Kraftmaxima in %KG mit Kontrolle und zwischen den Operationsverfahren für ausgewählte Bereiche

7.5.1.3 Spitzendruck

Der in kPa gemessene Spitzendruck unter den definierten Zonen des Fußes verstärkte sich signifikant unter der Ferse um 38,5 kPa ($p=0,043$), sowie unter den MFK 1 ($p=0,024$), 3 ($p=0,003$) und 4 ($p=0,002$) um im Durchschnitt 60 kPa (siehe Abb. 32, S.61). In diesen Bereichen zeigte sich eine positive Tendenz vor allem für die Chevron- und proximale Osteotomie. Den stärksten Unterschied zwischen prä- und postoperativem Wert konnte man

unter dem Hallux nachweisen. Hier kam es zu einer Druckabnahme von präoperativ 483,7 kPa auf 326,0 kPa um durchschnittlich 157,7 kPa ($p<0,001$). Am stärksten war diese Druckabnahme in der Doppelosteotomiegruppe zu beobachten, wohingegen eine proximale Osteotomie die besten Resultate für den Druck unter der Großzehe erzielte. Insgesamt entwickelte sich der Hallux vom Bereich des größten Spitzendrucks auf einen Wert hinter Ferse und Mittelfußköpfchen 1 bis 3. Die am wenigsten physiologischen Spitzendruckwerte ergaben sich postoperativ bei Patienten mit Doppelosteotomie (siehe Abb. 33, S.62).

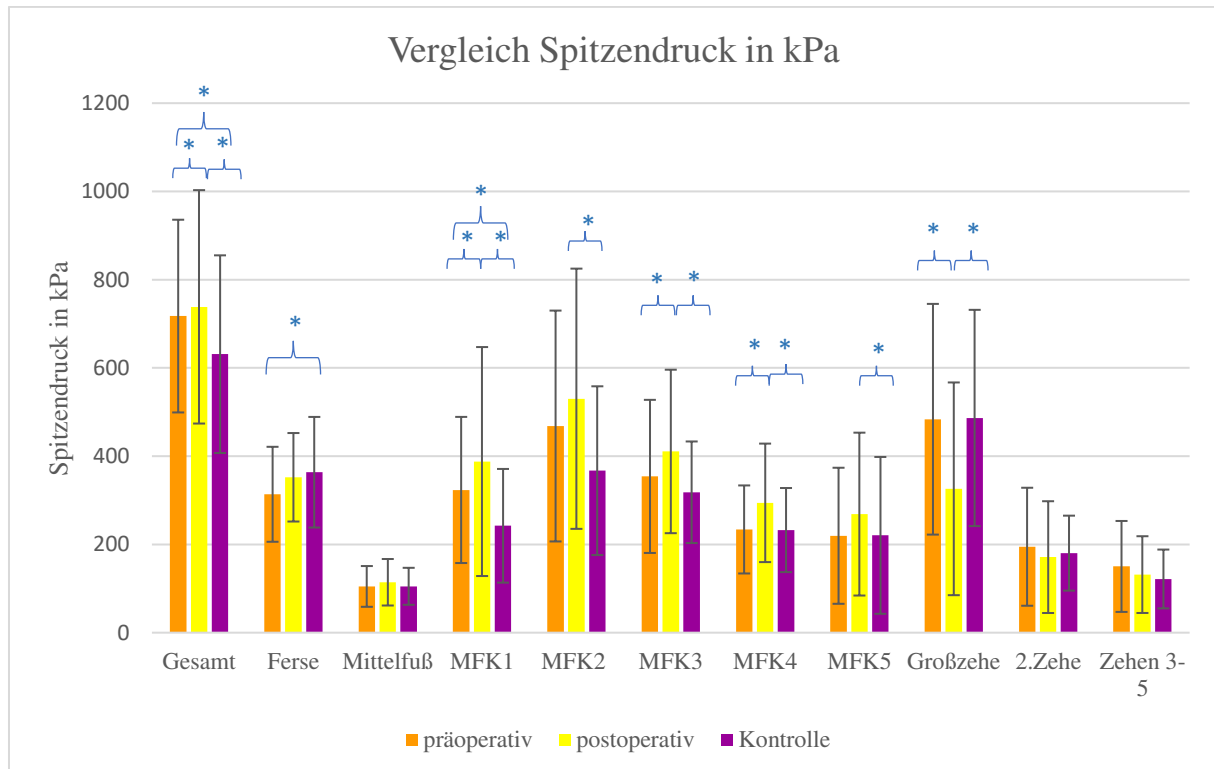


Abb. 32: Prä- und postoperativer Vergleich der Spitzendrücke in kPa mit Kontrolle

Der Vergleich mit der Kontrollgruppe hat ergeben, dass es präoperativ zu signifikant niedrigeren Spitzendruckwerten unter der Ferse ($p=0,001$), die sich postoperativ der gesunden Kontrollgruppe annäherten, und größeren Werten unter dem gesamten Fuß ($p=0,003$) und den MFK 1 ($p<0,001$) und 2 ($p=0,006$) kommt. Eine weitere Steigerung des Spitzendrucks wurde unter den MFK 1 und 2 (jeweils $p<0,001$) postoperativ gemessen, sodass es postoperativ zu noch größeren Differenzen zur gesunden Kontrollgruppe kam. Auch unter den Mittelfußköpfchen 3 ($p<0,001$), 4 ($p=0,002$) und 5 ($p=0,016$) konnten signifikant höhere Spitzendruckwerten im Vergleich zur Kontrolle verzeichnet werden. Unter der Großzehe ($p<0,001$) hingegen kam es zu pathologisch niedrigen Werten. Keine signifikanten Unterschiede und somit nicht beeinflusst von Hallux valgus oder einer Operation desselben ergaben die Werte für den Mittelfuß und die Digi 2-5.

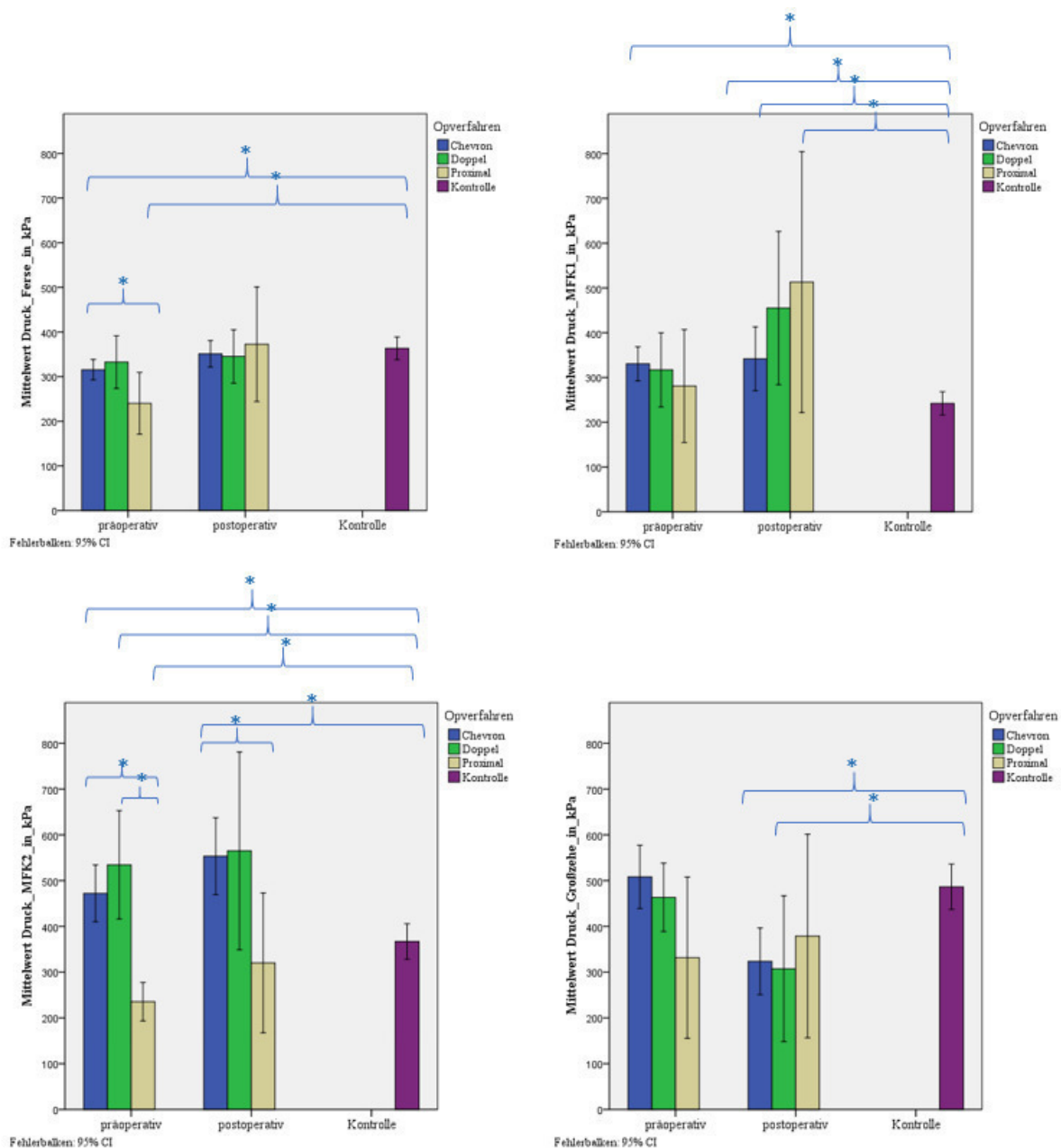


Abb. 33: Prä- und postoperativer Vergleich der Kraftmaxima in %KG mit Kontrolle und zwischen den Operationsverfahren für ausgewählte Bereiche

7.5.1.4 Kontaktzeit

Die Kontaktzeit der Mittelfußköpfchen 1-4 verkürzte sich signifikant um ca. 2% der Roll-Over-Phase (ROP), die von Großzehe und den Zehen 2-5 durchschnittlich sogar um 10% ROP. Zu den besten Werten kam es unter den MFK in der Doppelosteotomiegruppe. Bei beiden anderen Verfahren fanden wir längere Kontaktzeiten im Mittelfußbereich. Zur Verdeutlichung der Veränderungen unter den MFK kann Abb. 35 auf S.64 herangezogen werden, die die signifikant niedrigen Unterschiede unter den MFK beispielhaft an MFK 2 darstellt. Im Vorfußbereich zeigte sich das beste Resultat nach Chevronverfahren.

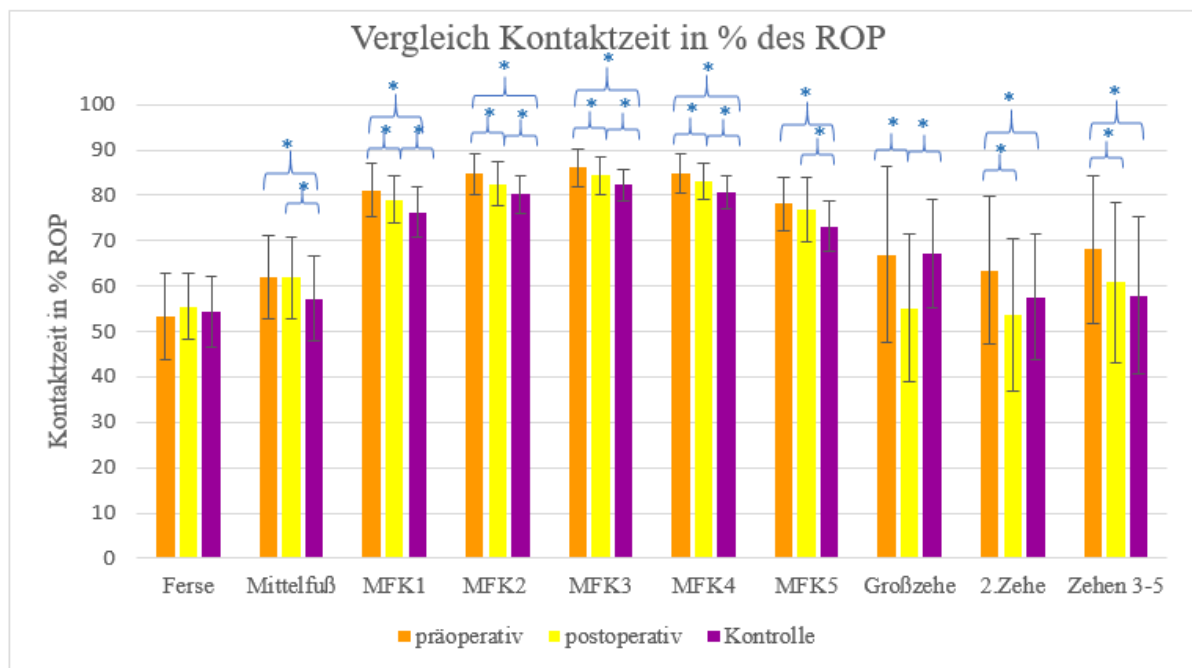


Abb. 34: Prä- und postoperativer Vergleich der Kontaktzeit in %ROP mit Kontrolle

Unterschiede zur Kontrollgruppe ergaben sich präoperativ bei den Werten für Mittelfuß ($p < 0,001$), MFK 1-5 (jeweils $p < 0,001$) und Digni 2 ($p = 0,002$) bis 5 ($p < 0,001$). Hier zeigte sich bereits präoperativ eine längere Kontaktzeit, die sich weiter an die Normwerte annäherte. Trotzdem kam es postoperativ noch zu signifikanten Abweichungen von physiologischen Werten für diese Parameter (Mittelfuß ($p = 0,002$); MFK1 ($p = 0,003$); MFK2 ($p = 0,003$); MFK3 ($p = 0,001$); MFK4 ($p < 0,001$); MFK5 ($p < 0,001$)). Allein Digni 2-5 ergaben keinen signifikanten Unterschied mehr und näherten sich somit der gesunden Kontrollgruppe an. Die Kontaktzeit der Großzehe betrug präoperativ annähernd physiologische Werte und zeigte postoperativ eine Erniedrigung um 12%ROP, sodass sich ein eindeutiger Unterschied ($p < 0,001$) zu den gesunden Füßen zeigte. Alle signifikanten Unterschiede sind Abb. 34 zu entnehmen.

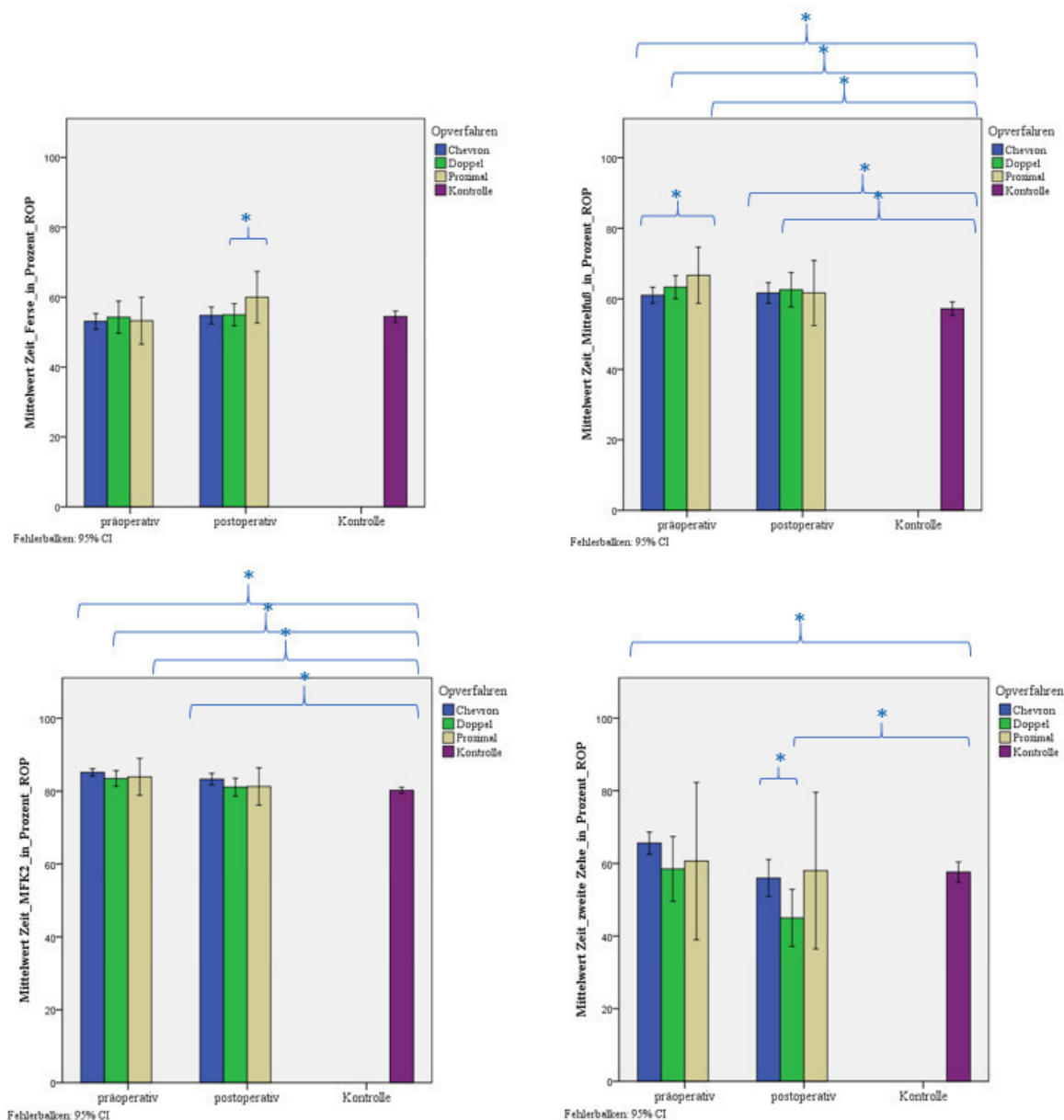


Abb. 35: Prä- und postoperativer Vergleich der Kontaktzeit in %ROP mit Kontrolle und zwischen den Operationsverfahren für ausgewählte Bereiche

7.5.1.5 Kontaktfläche

In Hinsicht auf die Kontaktfläche gab es nur bei dem Parameter Ferse einen signifikanten Unterschied zwischen prä- und postoperativer Messung. Dabei kam es zu einer geringen Vergrößerung der Fersenkontaktfläche von 27,02 cm² auf 27,36 cm². Diese Werte lagen allerdings noch deutlich unter denen der Kontrollgruppe mit 29,23 cm². Die beste Annäherung erfolgte hier für die Doppelosteotomiegruppe, wie in Abb. 37 auf S.65 zu sehen ist. Bei der Kontaktflächenmessung ergaben sich insgesamt niedrigere Werte für die Patienten prä- und postoperativ im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe (siehe Abb. 36, S.65). Präoperativ wurden diese signifikanten Werte unter der Ferse ($p=0,001$), dem MFK 2 ($p=0,010$) und der

Großzehe ($p < 0,001$) gefunden. Nach der Operation am Hallux betrafen die signifikanten Unterschiede zusätzlich die Kontaktfläche des gesamten Fußes ($p = 0,028$) und des MFK 3 ($p = 0,029$). Die größten Unterschiede ergaben sich zur proximalen Gruppe. Kleine

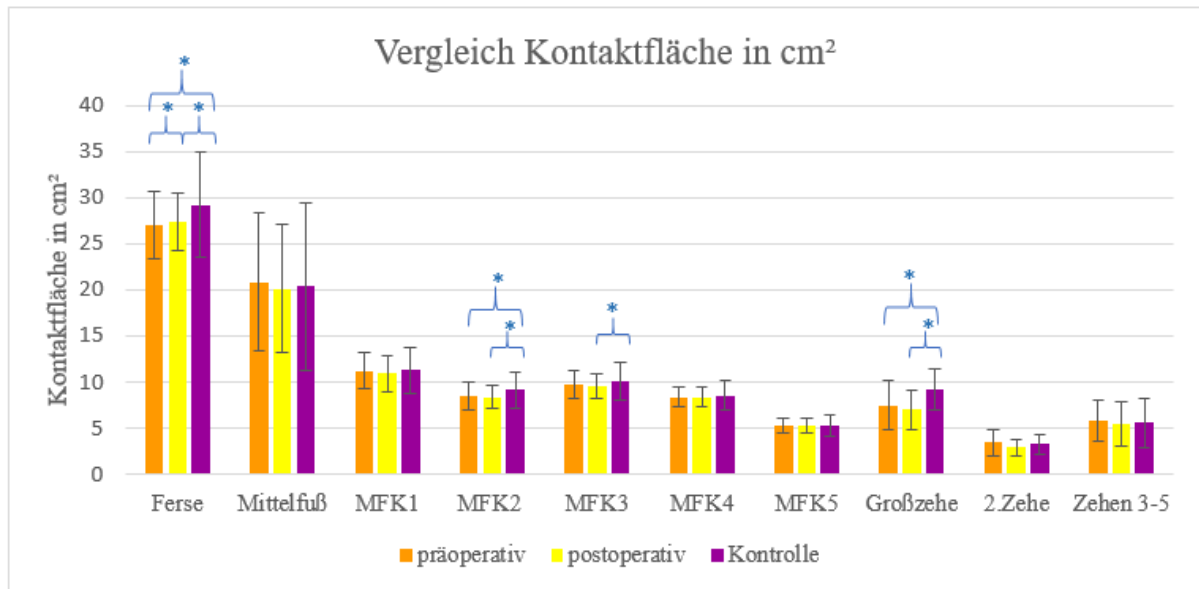


Abb. 36: Prä- und postoperativer Vergleich der Kontaktzeit in %ROP mit Kontrolle

Annäherungen an die Werte der Kontrollgruppe ergaben sich bei der Ferse um 0,4 cm². Die Kontaktflächen unter dem MFK 2 und unter dem Hallux verringerten sich allerdings noch weiter. Keine signifikanten Unterschiede ergaben sich für den Mittelfuß, MFK 1, 4 und 5 und für die Digi 2-5.

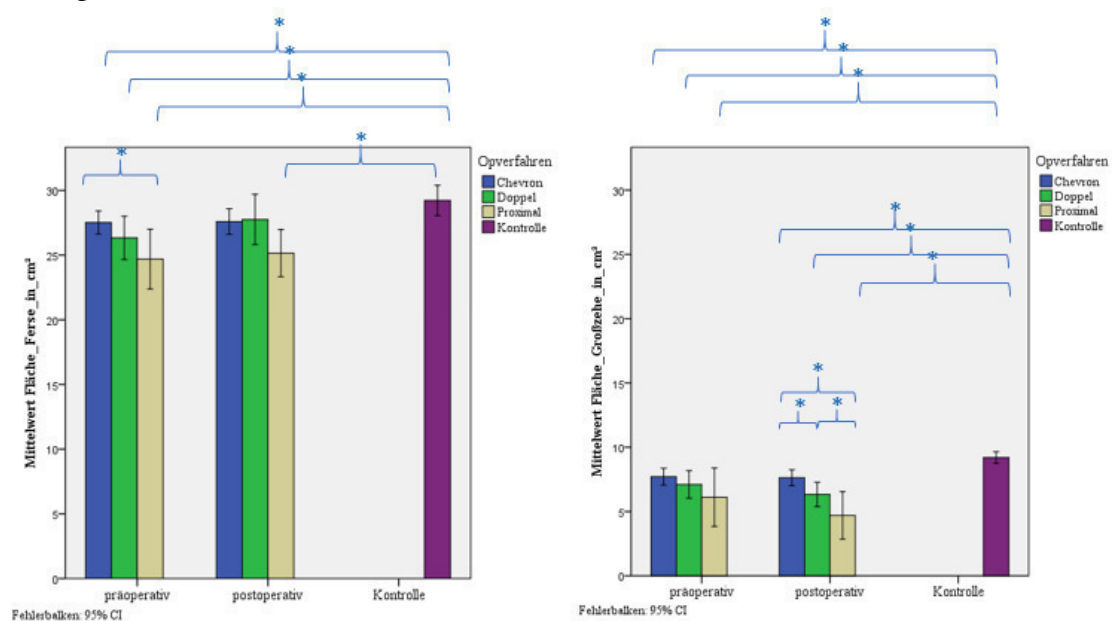


Abb. 37: Prä- und postoperativer Vergleich der Kontaktzeit in %ROP mit Kontrolle und zwischen den Operationsverfahren für ausgewählte Bereiche

Präoperative Fußdruckmessung

		Gesamter Fuß	Ferse	Mittelfuß	MFK 1	MFK 2	MFK 3	MFK 4	MFK 5	Großzehe	2. Zehe	Zehen 3-5
Kraftmaximum in %KG	Chevron	112,5 (8,2)	65,1* (10,3)	18,8 (12,7)	24,5 (8,0)	24,8 (6,7)	24,1 (5,4)	14,2 (4,2)	8,0 (4,1)	18,2* (10,8)	4,8 (3,5)	5,3 (3,7)
	Doppel	108,3 (7,4)	62,8* (12,9)	17,4 (8,0)	21,6 (8,5)	25,0 (7,4)	24,5 (4,7)	15,6 (2,9)	8,5 (3,1)	14,2* (6,5)	5,0 (3,5)	5,5 (4,2)
	Proximal	107,0 (6,8)	57,6* (18,6)	21,1 (14,1)	20,8 (6,3)	17,7* (6,5)	24,9 (4,2)	18,9* (4,8)	9,1 (3,9)	13,2* (9,3)	4,9 (2,6)	6,5 (4,8)
	Gesamt	111,1 (8,1)	64,0* (11,8)	18,6 (11,8)	23,6 (8,0)	24,3 (7,1)	24,3 (5,1)	14,9 (4,2)	8,2 (3,8)	16,9* (10,0)	4,8 (3,4)	5,4* (3,9)
	Kontrolle	114,2 (29,0)	73,5 (22,3)	16,4 (11,2)	23,7 (12,0)	25,2 (8,2)	24,6 (5,9)	15,1 (4,4)	7,5 (3,3)	23,0 (12,7)	4,0 (2,2)	4,3 (3,2)
Spitzendruck in kPa	Chevron	726,3* (223,9)	315,5* (95,4)	105,6 (50,8)	330,5* (158,3)	472,2* (258,7)	354,0 (189,9)	220,7 (101,9)	204,7 (155,6)	508,3 (287,9)	192,7 (119,3)	147,2 (98,6)
	Doppel	748,3* (199,5)	332,6 (140,0)	102,4 (34,6)	317,0 (196,3)	534,5* (280,3)	378,4* (148,6)	256,6 (92,4)	247,8 (148,3)	463,5 (176,7)	199,7 (164,6)	150,5 (98,6)
	Proximal	549,0 (184,8)	240,2* (83,0)	104,0 (42,5)	281,0 (150,9)	235,6* (50,3)	282,2 (60,7)	279,3 (94,5)	262,4 (169,1)	331,7 (210,8)	196,5 (175,0)	173,2 (162,1)
	Gesamt	717,5* (219,5)	313,6* (108,2)	104,8 (46,4)	323,4* (166,4)	468,3* (262,9)	354,1 (174,4)	233,9 (100,3)	219,5 (154,9)	483,7 (262,7)	194,7 (134,4)	150,1 (103,6)
	Kontrolle	631,1 (225,2)	363,5 (126,0)	105,0 (42,1)	242,2 (129,5)	367,1 (192,2)	318,2 (115,7)	232,5 (95,8)	220,4 (178,6)	486,6 (246,3)	180,2 (85,4)	121,7 (67,0)
Kontaktzeit in %ROP	Chevron	100,0 (0,0)	53,1 (9,4)	61,0* (9,4)	81,9* (5,4)	85,1* (4,2)	86,3* (3,9)	84,8* (4,2)	78,0* (6,0)	70,0* (19,5)	65,6* (12,7)	68,2* (14,2)
	Doppel	100,0 (0,0)	54,3 (10,9)	63,3* (7,8)	79,1* (6,9)	83,5* (5,1)	85,3* (4,9)	84,4* (4,7)	76,8* (6,2)	61,4 (17,6)	58,5 (21,1)	66,7* (19,1)
	Proximal	100,0 (0,0)	53,3 (8,0)	66,7* (9,5)	80,8* (3,8)	83,9* (6,0)	86,2* (4,0)	87,1* (3,5)	82,7* (3,6)	58,1 (21,8)	60,7 (25,9)	71,2* (25,0)
	Gesamt	100,0 (0,0)	53,4 (9,6)	62,0* (9,1)	81,2* (5,8)	84,6* (4,6)	86,0* (4,1)	84,9* (4,3)	78,1* (6,0)	66,9 (19,6)	63,5* (16,4)	68,1* (16,3)
	Kontrolle	100,0 (0,0)	54,5 (7,9)	57,2 (9,5)	76,3 (5,5)	80,2 (4,2)	82,3 (3,4)	80,7 (3,7)	73,2 (5,6)	67,2 (12,1)	57,6 (13,8)	57,9 (17,4)
Kontaktfläche in cm²	Chevron	109,0 (18,1)	27,5* (3,7)	20,7 (8,2)	11,5 (2,0)	8,7* (1,5)	9,9 (1,4)	8,4 (1,0)	5,4 (0,8)	7,7* (2,7)	3,5 (1,6)	5,8 (2,3)
	Doppel	106,1 (15,8)	26,3* (4,0)	20,9 (5,2)	10,9 (1,7)	8,5 (1,5)	9,8 (1,5)	8,4 (1,1)	5,2 (0,8)	7,1* (2,5)	3,4 (1,3)	5,6 (2,2)
	Proximal	100,7 (11,8)	24,7* (2,8)	21,6 (8,5)	10,0 (2,2)	7,7* (1,7)	8,7 (1,8)	7,8 (1,6)	4,9 (1,0)	6,1* (2,7)	3,4 (1,0)	5,7 (2,3)
	Gesamt	107,7 (17,2)	27,0* (3,8)	20,8 (7,5)	11,2 (2,0)	8,5* (1,5)	9,7 (1,5)	8,4 (1,1)	5,3 (0,8)	7,4* (2,7)	3,5 (1,4)	5,7 (2,2)
	Kontrolle	112,1 (25,9)	29,2 (5,8)	20,4 (9,2)	11,3 (2,5)	9,1 (2,0)	10,1 (2,0)	8,5 (1,6)	5,3 (1,1)	9,2 (2,2)	3,3 (1,0)	5,6 (2,7)

Tab. 6: Präoperative Mittelwerte und Standardabweichungen der emed[®]-Fußdruckmessung unter den verschiedenen Bereichen

*- signifikante Unterschiede zur Kontrollgruppe in einem 95%igen Konfidenzintervall

(...) Standardabweichung

Postoperative Fußdruckmessung

		Gesamter Fuß	Ferse	Mittelfuß	MFK 1	MFK 2	MFK 3	MFK 4	MFK 5	Großzehe	2. Zehe	Zehen 3-5
Kraftmaximum in %KG	Chevron	114,1 (8,7)	69,5 (9,3)	18,3 (11,6)	25,0 (9,2)	27,8* (6,6)	25,8 (5,7)	15,2 (4,5)	8,3 (3,0)	13,7* (8,3)	3,5 (2,2)	4,9 (3,6)
	Doppel	110,8 (7,8)	66,7 (11,6)	20,8* (8,3)	25,1 (11,0)	24,9 (9,1)	25,7 (5,3)	18,2* (5,2)	10,8* (5,5)	10,5* (7,1)	3,2 (2,2)	3,8 (2,6)
	Proximal	115,2 (15,0)	65,5 (22,4)	14,3 (7,9)	27,4 (14,9)	18,5* (8,0)	23,6 (9,2)	15,7 (5,3)	5,7 (2,4)	9,0* (4,8)	5,3 (4,8)	7,7 (6,4)
	Gesamt	113,4 (9,3)	68,4 (11,7)	18,5 (10,6)	25,3 (10,2)	26,1 (7,9)	25,6 (6,0)	16,0 (4,9)	8,6* (4,0)	12,4* (7,8)	3,6 (2,6)	5,0 (3,9)
	Kontrolle	114,2 (29,0)	73,5 (22,3)	16,4 (11,2)	23,7 (12,0)	25,2 (8,2)	24,6 (5,9)	15,1 (4,4)	7,5 (3,3)	23,0 (12,7)	4,0 (2,2)	4,3 (3,2)
Spitzendruck in kPa	Chevron	693,8 (241,1)	351,2 (93,7)	112,9 (54,9)	341,8* (226,0)	553,2* (266,2)	415,3* (172,0)	267,2 (114,8)	244,9 (162,8)	323,7* (230,7)	175,1 (111,8)	134,4 (82,5)
	Doppel	875,6* (289,3)	345,3 (108,0)	127,9 (57,3)	455,1* (309,1)	565,0 (390,2)	435,4* (239,2)	377,8* (176,2)	363,7* (237,4)	307,6* (287,8)	127,3* (78,9)	102,5 (81,6)
	Proximal	705,8 (299,5)	372,5 (138,9)	92,3 (18,9)	513,1* (315,2)	320,3 (165,2)	330,7 (143,4)	272,9 (77,5)	204,4 (134,8)	378,9 (240,5)	242,5 (244,3)	177,0 (118,0)
	Gesamt	738,4* (266,6)	352,1 (101,1)	114,2 (53,1)	387,8* (261,6)	530,1* (297,3)	410,7* (186,7)	294,2* (135,3)	268,7* (186,0)	326,0* (243,0)	171,2 (127,7)	131,6 (87,7)
	Kontrolle	631,1 (225,2)	363,5 (126,0)	105,0 (42,1)	242,2 (129,5)	367,1 (192,2)	318,2 (115,7)	232,5 (95,8)	220,4 (178,6)	486,6 (246,3)	180,2 (85,4)	121,7 (67,0)
Kontaktzeit in %ROP	Chevron	100, 0 (0,0)	54,8 (7,6)	61,7* (9,3)	79,1* (5,7)	83,3* (5,0)	84,8* (4,6)	83,7* (4,2)	77,9* (6,2)	58,1* (13,9)	56,0 (16,2)	60,4 (16,3)
	Doppel	100, 0 (0,0)	55,0 (5,8)	62,6* (8,8)	78,1 (5,5)	81,1 (4,4)	83,0 (4,0)	81,4 (4,0)	76,5* (5,9)	50,2* (18,0)	45,0* (14,2)	55,8 (21,2)
	Proximal	100, 0 (0,0)	60,0 (8,0)	61,7 (10,0)	80,8* (1,7)	81,3 (5,6)	84,3 (2,8)	84,4* (2,3)	71,0 (11,8)	49,0* (22,7)	58,0 (23,3)	74,1* (14,6)
	Gesamt	100,0 (0,0)	55,4 (7,3)	61,9* (9,1)	79,1* (5,4)	82,6* (5,0)	84,3* (4,3)	83,2* (4,0)	76,8* (7,2)	55,2* (16,2)	53,6 (17,1)	60,8 (17,9)
	Kontrolle	100,0 (0,0)	54,5 (7,9)	57,2 (9,5)	76,3 (5,5)	80,2 (4,2)	82,3 (3,4)	80,7 (3,7)	73,2 (5,6)	67,2 (12,1)	57,6 813,8)	57,9 (17,4)
Kontaktfläche in cm²	Chevron	107,4 (17,0)	27,6 (3,1)	20,4 (7,6)	11,3 (2,0)	8,7 (1,3)	9,6 (1,4)	8,3 (1,1)	5,2 (0,8)	7,6* (2,0)	2,9 (0,9)	5,6 (2,4)
	Doppel	106,2 (11,7)	27,8 (3,5)	21,4 (4,7)	10,6 (1,7)	8,0* (1,3)	10,0 (1,3)	8,6 (1,1)	5,5 (0,9)	6,3* (1,7)	2,9 (0,8)	4,9 (2,5)
	Proximal	92,9* (5,3)	25,2* (2,0)	16,2 (6,9)	9,4* (1,2)	7,1* (0,8)	8,3* (1,1)	8,0 (0,9)	4,8 (0,4)	4,7* (2,0)	3,1 (1,2)	6,1 (2,7)
	Gesamt	105,5* (15,5)	27,4* (3,2)	20,1 (7,0)	10,9 (1,9)	8,4* (1,3)	9,6* (1,4)	8,4 (1,1)	5,2 (0,8)	7,0* (2,1)	2,9 (0,9)	5,5 (2,4)
	Kontrolle	112,1 (25,9)	29,2(5,8)	20,4 (9,2)	11,3 (2,5)	9,1 (2,0)	10,1 (2,0)	8,5 (1,6)	5,3 (1,1)	9,2 (2,2)	3,3 (1,0)	5,6 (2,7)

Tab. 7: Postoperative Mittelwerte und Standardabweichungen der emed[®]-Fußdruckmessung unter den verschiedenen Bereichen

*- signifikante Unterschiede zur Kontrollgruppe in einem 95%igen Konfidenzintervall

(...) Standardabweichung

7.5.2 Korrelationsanalyse

Alle Korrelationskoeffizienten und die dazu gehörigen Signifikanzen sind in Tab. 8 enthalten. Die mit einem Stern (*) markierten Daten stellen in einem 95%-Konfidenzintervall signifikante Werte dar. Liegt der Korrelationskoeffizient r zwischen $|0,2|$ und $|0,29|$, ergibt sich eine schwache Korrelation, bei Werten zwischen $|0,3|$ und $|0,49|$ können mittelstarke Zusammenhänge angenommen werden. Ergeben sich positive Werte, so gilt ein positiver Zusammenhang, d.h. je größer Werte von X werden, desto größer wird die abhängige Variable Y. Negative Werte lassen eine negative Korrelation vermuten, was bedeutet, je kleiner X, desto größer Y. Die Korrelation erfolgte an den zur Kontrollgruppe normierten Werten für die Fußdruckmessung.

Auf einem Konfidenzniveau von 0,01 besonders signifikant sind die positiven Zusammenhänge zwischen der Fläche unter dem MFK1 und dem Schmerz ($r = 0,365$; $p = 0,008$), sowie dem Spitzendruck unter den Zehen 3-5 und der Achsenstellung postoperativ ($r = 0,354$; $p = 0,010$). Ein mittelstarker negativer Zusammenhang im 0,01 Niveau ergab sich für die Zeit unter dem MFK 4 und dem postoperativen AOFAS Score ($r = -0,370$; $p = 0,007$).

Im Vergleich ergaben sich weniger signifikante Werte für Beziehungen zwischen Radiologie und Klinik als zwischen Fußdruckmessung und Klinik (22 zu 5 Korrelationen). Im Folgenden werden diese erläutert.

7.5.2.1 Klinische Korrelationen

Wir nutzten den AOFAS Score um das klinische Outcome postoperativ einschätzen zu können. Eine Korrelation dieses Scores mit Radiologie und Fußdruck ergab für keinen der radiologischen Parameter und vier der emed[®]-Variablen einen signifikanten Zusammenhang. Die niedrigste Korrelation zeigte sich für den Druck unter den Zehen 3-5 ($r = 0,282$; $p = 0,043$). Stärkere negative Korrelationen konnten zur Kontaktzeit unter MFK 3 ($r = -0,301$; $p = 0,030$) und 5 ($r = -0,308$; $p = 0,026$) gefunden werden. Der signifikant stärkste Zusammenhang innerhalb eines 0,01 Konfidenzintervalls zeigte sich zwischen der Kontaktzeit unter dem MFK 4 und dem postoperativen Score. Hier zeigte sich eine negative Korrelation mit einem Korrelationskoeffizient $r = -0,370$ und einer Signifikanz von $p = 0,007$.

Da der Unterpunkt Schmerz einen hohen Stellenwert für den AOFAS Score mit 40 Punkten bezieht, ist vor allem wichtig welche Einflussfaktoren mit diesem korrelieren. Wir fanden negative Korrelationen zu der Kraft unter der Großzehe ($r = -0,317$; $p = 0,022$) und der

Korrelationen

Spearman-Rho		Schmerz	Aktivitätsein- schränkung	Schuhwerk	MTP- Beweglichkeit	IP- Beweglichkeit	MTP-IP- Stabilität	Schwiele	Achsenstellung	Funktion	AOFAS
Kraft Großzehe	r	-0,317*	-0,319*	-0,041	0,110	0,057	0,097	-0,025	-0,143	0,017	-0,225
	p	0,022	0,021	0,773	0,439	0,691	0,496	0,860	0,312	0,903	0,108
Kraft Zehen 3-5	r	0,081	0,129	0,106	-0,072	-0,120	-0,003	0,312*	0,209	0,167	0,200
	p	0,567	0,363	0,453	0,611	0,399	0,981	0,024	0,136	0,236	0,156
Druck Ferse	r	0,159	0,155	0,050	0,061	-0,002	0,070	0,182	0,292*	0,144	0,194
	p	0,261	0,272	0,725	0,665	0,988	0,622	0,197	0,036	0,308	0,169
Druck Mittelfuß	r	0,081	-0,059	-0,015	0,348*	0,137	0,150	0,153	0,165	0,291*	0,185
	p	0,566	0,675	0,914	0,011	0,333	0,289	0,280	0,241	0,037	0,189
Druck MFK4	r	-0,143	0,002	-0,160	-0,204	0,146	-0,027	0,011	-0,312*	-0,144	-0,215
	p	0,312	0,990	0,256	0,147	0,303	0,851	0,938	0,024	0,308	0,126
Druck 2. Zehe	r	0,147	0,115	0,032	0,066	0,228	0,320*	0,207	0,075	0,240	0,219
	p	0,300	0,416	0,821	0,641	0,104	0,021	0,141	0,596	0,086	0,118
Druck Zehen 3-5	r	0,084	0,189	0,118	0,098	-0,137	0,253	0,162	0,354**	0,247	0,282*
	p	0,552	0,179	0,405	0,488	0,333	0,070	0,250	0,010	0,077	0,043
Zeit Ferse	r	-0,206	-0,195	0,062	0,077	-0,026	0,053	-0,280*	0,027	-0,044	-0,108
	p	0,142	0,165	0,665	0,587	0,854	0,707	0,044	0,851	0,757	0,444
Zeit MFK3	r	-0,214	-0,242	-0,047	-0,166	-0,193	-0,013	-0,050	-0,316*	-0,199	-0,301*
	p	0,127	0,085	0,738	0,240	0,169	0,925	0,725	0,023	0,156	0,030
Zeit MFK4	r	-0,344*	-0,281*	-0,110	-0,197	-0,124	0,017	-0,185	-0,203	-0,266	-0,370**
	p	0,013	0,044	0,436	0,161	0,381	0,907	0,190	0,149	0,057	0,007
Zeit MFK5	r	-0,306*	-0,188	-0,074	-0,129	-0,100	0,127	-0,169	-0,148	-0,218	-0,308*
	p	0,027	0,182	0,600	0,362	0,481	0,371	0,230	0,296	0,120	0,026
Fläche MFK1	r	0,365**	0,166	0,141	-0,102	-0,313*	-0,133	0,272	0,221	0,075	0,271
	p	0,008	0,239	0,318	0,470	0,024	0,346	0,051	0,115	0,597	0,052
Fläche MFK2	r	0,286*	0,034	-0,006	-0,014	-0,078	-0,083	0,162	0,129	0,037	0,207
	p	0,040	0,811	0,964	0,919	0,581	0,557	0,250	0,362	0,792	0,141
Fläche MFK4	r	0,288*	0,249	-0,137	-0,230	-0,070	-0,173	0,194	-0,004	-0,058	0,106
	p	0,039	0,075	0,332	0,102	0,624	0,219	0,167	0,976	0,682	0,455
HVWinkel	r	-0,040	-0,070	-0,122	0,113	0,092	0,045	0,080	-0,279*	0,081	-0,093
	p	0,753	0,577	0,332	0,368	0,464	0,721	0,527	0,024	0,521	0,461
Metatarsal- protrusion	r	-0,094	-0,022	-0,302*	0,028	-0,032	0,195	-0,132	-0,135	-0,156	-0,136
	p	0,456	0,860	0,014	0,825	0,798	0,119	0,296	0,285	0,214	0,280
MT1Boden	r	-0,014	-0,073	-0,222	-0,074	0,178	0,004	0,073	-0,360*	-0,123	-0,158
	p	0,926	0,636	0,147	0,634	0,248	0,978	0,637	0,016	0,425	0,307
Kongruenz	r	-0,055	-0,137	0,111	0,045	-0,021	-0,239	0,142	-0,309*	0,072	-0,120
	p	0,671	0,283	0,387	0,726	0,868	0,059	0,266	0,014	0,575	0,347
Sub- luxation	r	-0,030	0,159	-0,127	-0,062	-0,018	0,085	0,135	-0,285*	-0,019	-0,121
	p	0,819	0,218	0,327	0,630	0,893	0,512	0,294	0,025	0,882	0,348

Tab. 8: Signifikante Korrelationen zwischen radiologischen/pedobarografischen und klinischen Parametern (**-signifikant in einem 99%igen KI)

Kontaktzeit der MFK 4 ($r = -0,344$; $p = 0,013$) und 5 ($r = -0,306$; $p = 0,027$) postoperativ. Ebenso schien dies mit einer Aktivitätseinschränkung der Patienten ($r = -0,3319$; $p = 0,021$)

gekoppelt zu sein. Eine hohe Signifikanz konnte bei der Korrelation zwischen der Fläche unter dem MFK 1 und dem postoperativen Schmerz ($r = 0,365$; $p = 0,008$) gefunden werden. Hier zeigte eine größere Fläche ein besseres klinisches Outcome. Radiologische Parameter konnten in unserer Studie nicht signifikant mit dem Schmerz korreliert werden.

Der Unterpunkt Funktion wies nur eine Korrelation zum Spitzendruck unter dem Mittelfuß auf ($r = 0,291$; $p = 0,037$).

Den drittgrößten Unterpunkt des Scores stellt die Achsenstellung, also Kosmetik der Großzehe dar. Hier fanden sich signifikante Korrelationen für 4 radiologische und 4 emed[®]-Daten. Nur schwache Korrelationen zeigten sich für den Druck unter der Ferse ($r = 0,292$; $p = 0,036$), den Hallux-valgus-Winkel ($r = -0,279$; $p = 0,025$) und die Subluxationsneigung ($r = -0,285$; $p = 0,025$) des Gelenks. Mittelstarke Korrelationen konnten für den MT1-Boden-Winkel ($r = -0,360$; $p = 0,016$), die Gelenkkongruenz ($r = -0,309$; $p = 0,014$), den Spitzendruck unter dem MFK 4 ($r = -0,312$; $p = 0,024$) und die Kontaktzeit des MFK 3 ($r = -0,316$; $p = 0,023$) gefunden werden. In einem Konfidenzintervall von 0,01 zeigte die Korrelation zum Druck unter den Zehen 3-5 den signifikantesten Zusammenhang zur Achsenstellung postoperativ ($r = 0,354$; $p = 0,010$).

Alle weiteren signifikanten Korrelationen sind in Tab. 8 auf S.69 enthalten.

7.5.2.2 Radiologische Korrelationen

Bei der Korrelation zwischen Radiologie und Fußdruckmessung kam es zu vielen mittelstarken Beziehungen. Hier sollen nur die mit einem Signifikanzniveau $\leq 0,01$ erwähnt werden. Der Rest ist Tab. 9 auf S.71f. zu entnehmen. Positive Korrelationen bestanden zwischen der Kraft unter dem MFK 3 und dem postoperativen Hallux-valgus-Winkel ($r = 0,384$; $p = 0,003$), ebenso wie der Kraft unter dem MFK 4 und der postoperativen Subluxationsneigung des MTP-Gelenks ($r = 0,457$; $p < 0,001$). Für das MFK 3 konnte ebenfalls eine positive Korrelation für den Spitzendruck ($r = 0,492$; $p = 0,005$) und eine negative Korrelation für die Kontaktzeit ($r = 0,498$; $p = 0,004$) mit dem Tibiotalarwinkel gefunden werden. Außerdem korrelierte die Kontaktfläche des MFK 3 mit dem Calcaneus-Boden-Winkel ($r = -0,489$; $p = 0,002$). Für die Großzehe kam es zu Zusammenhängen zwischen der Kontaktfläche und der Subluxationsneigung ($r = 0,382$; $p = 0,004$) und dem Spitzendruck und dem Hallux-valgus-interphalangeus-Winkel ($r = -0,384$; $p = 0,003$).

Betrachtet man sich die bezeichnenden Winkel für den Hallux valgus, konnten für den Hallux valgus-Winkel folgende Signifikanzen gefunden werden: Kraft_MFK3 ($r = 0,384$; $p = 0,003$); Kraft_Großzehe ($r = 0,292$; $p = 0,028$); Druck_MFK3 ($r = 0,266$; $p = 0,046$); Kontaktzeit_Mittelfuß ($r = 0,276$; $p = 0,038$); Kontaktzeit_zweite_Zehe ($r = 0,283$; $p = 0,033$); Kontaktfläche_Großzehe ($r = 0,315$; $p = 0,017$). Dabei stellen lediglich die Kontaktfläche unter der Großzehe und die Kraft unter dem MFK 3 mit $r > 0,3$ mittelstarke Korrelationen dar.

Der Intermetatarsalewinkel wies zur Kontaktzeit unter den Zehen 3-5 ($r = 0,317$; $p = 0,016$), der Fläche unter dem gesamten Fuß ($r = 0,300$; $p = 0,023$) und der Fläche unter dem MFK 2 ($r = 0,273$; $p = 0,040$) positive Korrelationen auf.

Korrelationen zwischen Fußdruck und Radiologie

Spearman-Rho		HV Winkel	HVi-Winkel	IM-Winkel	MT15-Winkel	MetAdd-Winkel	DMAA	met protr	Kongruenz	Subluxation	Sklerose
Kraft	r	0,075	0,290*	-0,093	0,024	0,186	0,093	0,007	0,232	0,200	-0,153
MFK1	p	0,581	0,029	0,490	0,860	0,170	0,493	0,959	0,086	0,142	0,264
Kraft	r	0,384**	0,046	0,086	-0,080	0,130	0,319*	-0,071	0,197	0,261	0,110
MFK3	p	0,003	0,735	0,522	0,552	0,341	0,016	0,601	0,145	0,054	0,426
Kraft	r	0,142	0,192	-0,149	-0,028	0,064	0,178	0,249	0,003	0,457**	0,123
MFK4	p	0,292	0,152	0,269	0,837	0,642	0,184	0,062	0,980	0,000	0,372
Kraft	r	0,292*	-0,110	-0,126	0,121	-0,031	0,218	0,151	0,115	0,203	-0,084
Großzehe	p	0,028	0,417	0,349	0,370	0,818	0,103	0,261	0,397	0,136	0,544
Kraft	r	-0,072	-0,059	0,149	0,196	0,277*	-0,109	0,013	0,203	0,061	0,029
Zehen 3-5	p	0,595	0,665	0,268	0,144	0,039	0,419	0,925	0,134	0,659	0,831
Druck	r	0,215	0,054	0,208	-0,045	0,065	0,296*	0,047	0,280*	0,132	-0,207
Gesamter Fuß	p	0,109	0,690	0,121	0,741	0,635	0,025	0,726	0,037	0,336	0,129
Druck	r	0,048	-0,047	-0,012	-0,068	-0,125	0,086	-0,167	-0,251	-0,288*	0,129
Mittelfuß	p	0,723	0,728	0,930	0,613	0,358	0,527	0,215	0,062	0,033	0,350
Druck	r	0,266*	-0,172	0,120	0,091	0,197	0,194	0,108	0,281*	0,039	0,000
MFK3	p	0,046	0,202	0,376	0,499	0,147	0,149	0,423	0,036	0,780	1,000
Druck	r	-0,001	-0,205	-0,104	0,221	-0,181	-0,005	0,138	0,166	0,195	-0,062
MFK4	p	0,995	0,125	0,440	0,099	0,182	0,972	0,304	0,221	0,155	0,650
Druck	r	0,167	-0,177	-0,009	0,145	-0,193	0,179	0,001	-0,037	0,306*	-0,017
MFK5	p	0,213	0,188	0,948	0,282	0,155	0,182	0,996	0,787	0,023	0,905
Druck	r	0,050	-0,384**	-0,050	0,099	0,006	0,050	0,236	0,176	0,003	0,052
Großzehe	p	0,714	0,003	0,713	0,464	0,966	0,713	0,077	0,193	0,983	0,707
Druck	r	0,165	-0,010	0,127	-0,301*	-0,055	0,274*	0,078	-0,080	-0,016	0,054
2.Zehe	p	0,221	0,944	0,347	0,023	0,686	0,039	0,564	0,560	0,906	0,694
Zeit	r	0,276*	0,138	0,091	-0,003	0,073	0,168	0,088	-0,054	0,143	-0,022
Mittelfuß	p	0,038	0,306	0,502	0,983	0,592	0,212	0,517	0,692	0,299	0,871

Tab. 9 (Teil 1): Korrelationen zwischen pedobarografischen und radiologischen Parametern
r-Korrelationskoeffizient; p-Signifikanz

Zeit	r	-0,029	0,324*	0,103	0,057	0,091	-0,006	0,123	-0,271*	-0,108	-0,304*
MFK1	p	0,830	0,014	0,447	0,671	0,503	0,967	0,364	0,043	0,431	0,024
Zeit	r	0,108	0,161	0,184	0,059	0,266*	0,092	0,197	0,002	0,024	-0,126
MFK2	p	0,426	0,231	0,170	0,662	0,048	0,496	0,143	0,987	0,863	0,359
Zeit	r	0,219	-0,016	0,078	0,004	0,198	0,177	0,372**	-0,204	0,043	0,097
MFK5	p	0,102	0,908	0,566	0,974	0,143	0,189	0,004	0,131	0,755	0,483
Zeit	r	0,283*	-0,011	0,157	0,025	0,146	0,254	0,159	-0,121	0,140	0,111
2.Zehe	p	0,033	0,936	0,245	0,854	0,283	0,056	0,237	0,374	0,309	0,421
Zeit	r	0,116	0,102	0,317*	0,141	0,391**	0,033	0,046	0,100	0,126	0,046
Zehen 3-5	p	0,391	0,451	0,016	0,296	0,003	0,807	0,733	0,462	0,358	0,739
Fläche	r	0,007	0,102	0,300*	-0,128	0,166	0,054	0,137	0,197	0,146	-0,073
Gesamter Fuß	p	0,959	0,450	0,023	0,344	0,221	0,692	0,309	0,145	0,289	0,596
Fläche	r	-0,142	0,112	0,064	-0,367**	-0,005	-0,018	0,163	0,212	0,192	-0,289*
Ferse	p	0,292	0,408	0,637	0,005	0,969	0,893	0,224	0,116	0,161	0,032
Fläche	r	-0,011	-0,073	0,171	-0,029	0,104	0,039	-0,044	0,287*	-0,071	-0,045
MFK1	p	0,935	0,590	0,202	0,830	0,447	0,774	0,745	0,032	0,605	0,745
Fläche	r	0,108	0,124	0,273*	0,040	0,187	0,256	-0,009	0,262	0,186	-0,058
MFK2	p	0,426	0,358	0,040	0,769	0,169	0,055	0,950	0,051	0,175	0,675
Fläche	r	-0,006	-0,058	0,048	-0,111	0,094	-0,040	0,096	0,159	0,181	-0,288*
MFK3	p	0,966	0,667	0,721	0,411	0,490	0,769	0,480	0,241	0,186	0,033
Fläche	r	0,181	-0,203	0,128	0,083	-0,044	0,095	0,231	-0,173	-0,028	-0,310*
MFK5	p	0,178	0,130	0,343	0,541	0,747	0,483	0,084	0,202	0,838	0,021
Fläche	r	0,315*	0,006	-0,013	0,058	0,126	0,338*	0,165	0,142	0,382**	-0,231
Großzehe	p	0,017	0,964	0,921	0,667	0,357	0,010	0,219	0,297	0,004	0,090
Fläche	r	0,232	0,096	-0,038	-0,088	-0,027	0,332*	0,190	0,104	0,171	-0,065
2.Zehe	p	0,083	0,476	0,779	0,517	0,843	0,012	0,156	0,446	0,212	0,638

Tab. 9 (Teil 2): Korrelationen zwischen pedobarografischen und radiologischen Parametern
r-Korrelationskoeffizient; p-Signifikanz

7.5.3 Regressionsanalyse

Durch die Regressionsanalyse kann der Einfluss einer oder mehrerer unabhängiger Variablen auf eine abhängige Variable erklärt werden. Unsere Analysen bezogen sich auf die abhängigen Variablen:

- AOFAS post
- Funktion post
- Schmerz post

Jede Analyse wurde einmal mit nicht-normierten und an der Kontrollgruppe normierten Werten durchgeführt.

Aufgrund der limitierten Fallzahl wurde angenommen, dass mehr als 4 in das Modell einbezogene Einflussvariablen keine gute Regression ergeben. Somit konnte nur für die Regression mit normierten Fußdruckmesswerten eine gute Beschreibung für den postoperativen AOFAS Score erzielt werden. Die vier Einflussvariablen und ihr Anteil an der Vorhersagbarkeit des AOFAS ist in Abb. 38 dargestellt. Dabei stellt die Zeit unter dem MFK 4 mit über 50% den Haupteinflussfaktor dar.

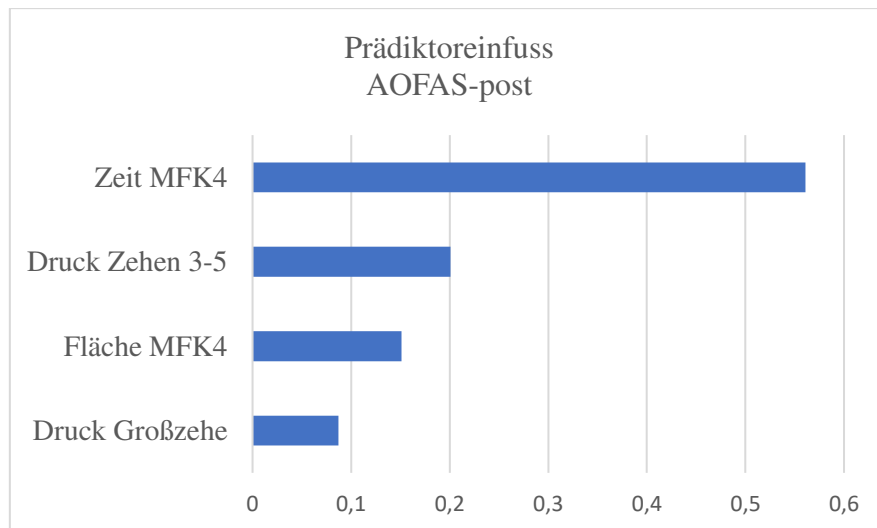


Abb. 38: Prädiktoreinfluss auf den postoperativen AOFAS Score

Im Vergleich dazu konnte die Analyse mit nicht-normierten Werten zwar eine höhere Güte, bei einer Variablenanzahl von 7 allerdings eine schlechtere Regression, erzielen. Ähnliche Erscheinungen findet man auch in den Bereichen Funktion und Schmerz, die aber aufgrund der hohen Zahl an Einflussfaktoren nicht hinsichtlich ihrer Regression zu interpretieren sind (siehe Tab. 10). Die Analysen des Einflusses präoperativer Fußdruckwerte und der postoperativen radiologischen Parameter auf das postoperative Outcome ergaben ebenfalls keine guten Ergebnisse.

Regressionsanalysen

			AOFAS post	Funktion post	Schmerz post
emed® postoperativ	normiert	Variablenanzahl	4	7	10
		Regressionsgüte in %	31,9	43,3	46
	nicht normiert	Variablenanzahl	7	10	6
		Regressionsgüte in %	37,8	40,2	30,5
emed® präoperativ	normiert	Variablenanzahl	8	4	7
		Regressionsgüte in %	26,8	20,4	27,3
	nicht normiert	Variablenanzahl	9	7	6
		Regressionsgüte in %	48	23,2	38
Radiologie #	Variablenanzahl		1	4	3
	Regressionsgüte in %		2	6,7	8,9

Tab. 10: Regressionsanalyse für normierte und nicht-normierte emed®-Daten, sowie Radiologie (#- kein Regressionsmodell möglich; 2% Güte erklären sich über die Variable AOFAS prä, radiologische Parameter wurden nicht in die Regression einbezogen)

8. Diskussion

8.1 Diskussion der Patientenaktenstudie

Für unsere Studie wählten wir ein Patientenkollektiv von 78 Patienten (108 Füße), die sich in den Jahren 1999 bis 2016 einer Hallux valgus Operation am Waldkrankenhaus „Rudolf Elle“ in Eisenberg unterzogen. Hinzu kam eine historisch gewachsene Kontrollgruppe aus 50 gesunden jungen Menschen zwischen 8 und 29 Jahren (100 Füße).

Mit einer finalen Geschlechterverteilung von ca. 10:1 liegt der Anteil der weiblichen Patienten der vorliegenden Studie im Rahmen der bereits veröffentlichten Studien von Chell (>80%) (Chell und Dhar 2014), Jochymek (87,5%) (Jochymek und Peterkova 2016), Coughlin (88%) (Coughlin 1995b) und Lynch (100%) (Lynch 1995). Damit spiegelt sie das Geschlechterverhältnis mit Präferenz des Hallux valgus für das weibliche Geschlecht im jungen Patientenkollektiv wieder. Ebenso lag der Zeitpunkt der Operation bei einem Patientenalter von $14,7 \pm 1,9$ Jahre und somit in den Bereichen von Johnson (Johnson et al. 2004), John (John et al. 2010) und Kraus (Kraus et al. 2013), bei denen das Durchschnittsalter zwischen 14,2 und 15 Jahren lag. Nur wenige Studien weisen ein niedrigeres Patientenalter auf, wie die von Agrawal zur Scarf-Akin Osteotomie mit durchschnittlich 11,7 Jahren (Agrawal et al. 2015). Der Nachuntersuchungszeitraum lag mit durchschnittlich 3,6 Jahren (43,2 Monaten) ebenfalls im Durchschnitt der für ein systematisches Review von Harb zusammengestellten Studien. Hier wurde eine Nachuntersuchungszeit von 41,6 Monaten angegeben (Harb et al. 2015).

Hinsichtlich der Therapieentscheidung gibt es für den juvenilen Hallux valgus keine generelle Therapieempfehlung oder Leitlinie. In der AWMF Leitlinie der Erwachsenenmedizin zum Hallux valgus findet man lediglich den Hinweis, dass ab einem DMAA größer 10° eine „retrokapitale Korrekturosteotomie mit medialer Keilentnahme“ (Waizy 2014) erfolgen sollte. Fuhrmann gab an, dass ein wesentliches Entscheidungskriterium der erste IM-Winkel sei. Bei Winkelgraden unter 15° rät sie zu einer Chevronoperation, wohingegen eine stärkere Deformität mit einem Doppelosteotomieverfahren versorgt werden sollte (Fuhrmann 2013). Marshall et al. setzten die Grenze sogar noch etwas höher an und empfahlen die Chevronoperation für milde und moderate Fehlstellungen, was laut Definition IM-Winkel bis zu 20° einbezieht (Marshall et al. 2014). Diese Überlegungen flossen ebenfalls in unsere Entscheidung für ein Operationsverfahren ein. Die Fülle an Techniken zeigt bereits, dass es keine allgemeingültige optimale Therapievariante gibt. In unserer Studie wurde sich nach Erfahrung des Operators und Ursache und Grad der Deformität für eine der drei

Operationsverfahren entschieden. Hierbei zeigte sich postoperativ kein signifikanter Unterschied im AOFAS-Score und somit im Outcome und der Zufriedenheit der Patienten.

Der Anteil an Rezidiven war in der proximal operierten Gruppe mit 33% am höchsten. Annähernd gleiche Rezidivwerte fanden wir für die Gruppe der Doppel- und Chevronosteotomien mit 12,5 bzw. 10,7%. Ein Vergleich der drei Gruppen ist in unserer Studie kritisch zu hinterfragen, da es sich um stark variierende Patientenzahlen zwischen den Gruppen handelt. Dennoch sind die Revisionsraten mit denen von Edmonds et al. vergleichbar. Sie fanden für den proximalen Eingriff einen Prozentwert von 21% und für die Doppelosteotomie 3%. Dies liegt im selben Bereich wie in unserer Studie mit 22% bzw. 4%. Im Rahmen der distalen Revision (Chevron) schnitt unsere Studie sogar mit 1% besser ab, als bei Edmonds mit 8% (Edmonds et al. 2015). Im Allgemeinen lag die Rezidivrate in der Übersichtsarbeit von Harb et al. bei 8% und die Revisionsrate bei 4% (Harb et al. 2015). Bei uns ergab sich eine etwas höhere Rezidivrate (13%), dafür aber eine vergleichbare Revisionsrate mit 4% (siehe auch Tab. 2 S.50). Dies zeigt, dass unsere operativen Eingriffe und die damit verbundenen Komplikationen vergleichbar mit denen anderer Studien waren. Postoperative schwere Probleme entstanden vor allem in der Doppelosteotomiegruppe mit zwei Entzündungen bzw. Nekrosen und einer Großzehengrundgelenksluxation, sodass es für diese Gruppe zu einer Komplikationsrate von 12,5% kam, was in etwa vergleichbar mit der Studie von Edmonds et al. ist (Edmonds et al. 2015). Dabei ist allerdings zu erwähnen, dass Komplikationen zumeist bei Kindern mit starker Deformität und Begleitdeformitäten des Fußes aufgetreten sind. So kam es zur Großzehengrundgelenksluxation bei einem Mädchen mit milder Hemiparesesyndromatik, die wir bei flüssigem Gangbild in die Studie einschließen konnten, die allerdings nach Operation diese Komplikation aufwies.

Unsere durchschnittliche Liegezeit lag mit 10,5 Tagen deutlich unter der einer Studie von 2003 an adulten Hallux valgus Patienten, die in München durch eine Keller-Brandes Operation behandelt wurden (Feitenhansl 2003). Diese lag hier bei rund 13,5 Tagen. Die längste Aufenthaltsdauer fanden wir für die Patienten in der Chevrongruppe mit 11,3 Tagen. Die Operationsdauer lag insgesamt bei rund 75 Minuten. Hier wies die Doppelosteotomie mit 101 Minuten verständlicherweise die längsten Zeiten auf.

8.2 Diskussion des Fragebogens

Soweit bekannt, gibt es keinen für Kinder validierten Fragebogen, der bei Vorfußproblemen im pädiatrischen Patientengut eingesetzt werden kann. Da Kinder allerdings im Alltag anderen

Belastungen als Erwachsene ausgesetzt sind, stellten wir uns aus der VAS Fuß- und Sprunggelenk des Klinikums Rummelsberg und dem Foot Function Index (FFI) eine Synthese zweier validierter Fragebogen zusammen.

Hinsichtlich des Schmerzes war zu erkennen, dass die operierte Gruppe deutlich mehr Schmerzen aufwies, als die konservativ behandelte. Dafür gibt es mehrere Erklärungsansätze. Zum einen ist es nachvollziehbar, dass der Grad der Deformität präoperativ in der operierten Gruppe deutlich höher war, als in der nicht operierten. Zudem stellt das Auftreten von Schmerzen an sich eine Indikation zur Operation dar (Torkki et al. 2001) und sollte deshalb möglichst selten von der konservativ behandelten Gruppe angegeben werden. Da lediglich 28% ebenfalls Schmerzen beim Barfußlaufen angaben, liegt die Vermutung nahe, dass der Schmerz postoperativ vor allem durch einengendes bzw. unpassendes Schuhwerk hervorgerufen wird. Dabei kann es sich um Druckschmerz über der Narbe, an einliegendem Material oder durch Einengung am fünften Strahl (Taylor's bunion) handeln. Dass Kinderschuhe oft zu klein gekauft werden bzw. zu kleine Schuhe einen zusätzlichen Risikofaktor für eine Hallux-valgus-Deformität darstellen, wurde bereits mehrfach diskutiert (Klein et al. 2009, Shine 1965, Yurt et al. 2014, Coughlin 1995a). Verdeutlicht wird der große Einflussfaktor Schuhwerk auch dadurch, dass nur 10% eine freie Schuhauswahl treffen konnten. Am häufigsten fällt die Wahl auf Turnschuhe. Meist wurde der Schmerz von unseren Patienten auf das Großzehengrundgelenk projiziert und beim Sport und langen Gehstrecken angegeben. Dabei scheint es durch das vermehrte Abrollen bzw. die verstärkte Last zu einer Überbelastung im MTP-Gelenk zu kommen. Dass zusätzlich Schmerzen in der Ferse angegeben wurden, lässt auf mögliche kompensatorische Lastverteilung und somit pathologische Bewegungsabläufe schließen.

Der Bereich, der sich in unserem Fragebogen mit der Funktionalität beschäftigte, zeigte mit rund 73 Punkten in der operierten und 77 Punkten in der konservativen Gruppe gute Resultate. Im Vergleich dazu wurde von adulten Patienten ein Punktescore von durchschnittlich 60,4 ermittelt. Allerdings wurde dieser Wert an einer nicht operierten Gruppe erzielt (Stuber et al. 2011). Generell lassen die Ergebnisse jedoch schlussfolgern, dass die Funktionalität nur gering im jugendlichen Alter eingeschränkt ist und die Patienten wahrscheinlich meist über ausreichende Adaptations- und Kompensationsmechanismen verfügen.

Relativ schlecht schnitt die Kosmetik der Zehe ab. Dabei fanden wir keine signifikanten Unterschiede zwischen konservativer und operierter Gruppe. Der Fragebogen konnte allerdings die Differenzierung der Unzufriedenheit nicht ausführlich genug klären. So kann die Kosmetik

mit der Achsenstellung, aber auch mit der Narbe nach Operation einhergehen. Wir fanden hier eine größere Zufriedenheit in der Chevrongruppe, was ebenfalls von Resch et al. in einem Vergleich zwischen Chevronverfahren und proximalem Eingriff gefunden wurde (Resch et al. 1993).

Hinsichtlich des postoperativen Verlaufs schnitten die adoleszenten Patienten gut ab. Über die Hälfte der Befragten war bereits nach 2 Monaten schmerzfrei. Dies steht in etwa im Einklang mit den Ergebnissen der Erwachsenenmedizin, in der es zu einer schmerzfreien Mobilisation nach ca. 6-8 Wochen kommt (Resch et al. 1993, Mathew et al. 2012). Der hohe Anteil an Patienten, die über unzureichende Beweglichkeit der Großzehe klagten, kann auch in der postoperativen Fußdruckmessung bestätigt werden. Gründe können vielfältig sein. Unter anderem kann man hier Einschränkungen durch einliegendes Material, aber auch postoperative Angst bei der freien Bewegung der Großzehe bzw. ein Instabilitätsgefühl nennen. Die Gesamtzufriedenheit mit der Operation lag innerhalb eines guten Bereiches mit 69 Punkten auf der VAS. Da der VAS in der Hallux valgus Population bisher wenig Anwendung findet, fällt der Vergleich zu anderen Studien schwer. Diese berichten über 73- 97%ige Zufriedenheit mit dem Outcome der Operation (Harb et al. 2015).

8.3 Diskussion des prä- und postoperativen Vergleichs

8.3.1 Klinik

Bei Analyse des AOFAS Scores der Patienten konnten signifikante Verbesserungen durch eine Operation gefunden werden ($p < 0,001$). Mit einem postoperativen Score von 80,05 Punkten lag das Ergebnis der Operation im Bereich eines guten Resultats. Ein systematisches Review von Harb aus dem Jahr 2015 fasste sechs Studien, die den AOFAS Score verwandten, zum Outcome bei jungen Patienten mit Hallux valgus Operation zusammen. Hier zeigte sich ein durchschnittlicher postoperativer Wert von 85,8 Punkten. Allerdings wiesen alle diese Studien den Mangel einer fehlenden präoperativen Erfassung auf (Harb et al. 2015). Wir konnten hingegen mit einer präoperativen Erhebung von 58 Punkten eine Verbesserung um 22 Scorepunkte darstellen. Martinez-Nova et al. berichteten in ihrer Studie, die das Outcome nach perkutanem Weichteilrelease und Akinverfahren zeigt, ebenfalls über eine Verbesserung des AOFAS Scores um 19,6 Punkte, was im selben Rahmen wie unser Ergebnis liegt (Martinez-Nova et al. 2008).

8.3.2 Radiologische Parameter

Eine signifikante Verbesserung der röntgenologischen Parameter ergab sich wie der Tab. 5, S.57 in Kapitel 7.4 zu entnehmen ist, für den Hallux-valgus-, Intermetatarsale-, Metatarsale 1-5- und distalen metatarsalen Gelenkflächenwinkel, sowie die metatarsale Protrusionsdistanz.

Primäres Ziel der Operation ist eine Verbesserung der Großzehenstellung, die vor allem durch den Hallux-valgus-Winkel charakterisiert wird. Die präoperativen Werte der Patienten lagen bei durchschnittlich 33° und konnten um 12° auf 21° verbessert werden. Der präoperative Wert ist vergleichbar mit dem anderer Studien (Okuda et al. 2013, Grill et al. 1986, Farrar et al. 2012). Im Vergleich zu diesen lag allerdings der postoperative Wert in unserem Patientenkollektiv bei höheren Werten. Dies kann zum einen mit einer zumeist niedrigen Patientenzahl in den vorliegenden Studien, aber auch mit einer fehlenden Intrarater-Reliabilität der vorliegenden Studie zusammenhängen. Außerdem wurden später revidierte Operationsergebnisse ebenfalls in die postoperative Analyse eingeschlossen. Trotzdem zeigt das Signifikanzniveau von $p < 0,001$ eine eindeutige Verbesserung der Werte an.

Eine Vergrößerung des Hallux-valgus-interphalangeus-Winkels konnte von uns postoperativ beobachtet werden. Einige weitere Autoren fanden diesen Effekt und folgerten daraus, dass der Hallux-valgus-interphalangeus bereits präoperativ bestehen müsse und durch einen Antipronationseingriff enthüllt wird (Park et al. 2011, Dixon et al. 2015). Da in unserer Studie der postoperative Durchschnittswert dennoch unter dem Grenzwert von 10° lag, kann man nicht von einer postoperativen Deformität, sondern nur von einem vergrößerten Winkel sprechen.

Eine Korrektur des Intermetatarsalewinkels konnte über alle Operationsverfahren hinweg um ca. $3,3^\circ$ erfolgen. Dieser Erfolg ähnelt der Studie von Davids, der eine Korrektur um $3,7^\circ$ erzielte (Davids et al. 2001).

Ebenso kam es zu einer signifikanten Verbesserung des DMAA, der in unserer Studie präoperativ mit 29° sehr groß ausfiel. Hier geben zahlreiche Studien eine schlechte Interobserverreliabilität für die Messung des DMAA an, was unsere Abweichung von Messungen anderer Studien erklären könnte und den DMAA als keinen zuverlässigen Marker in der Hallux-valgus-Diagnostik darstellt (Chi et al. 2002, Robinson et al. 2006, Jastifer et al. 2014). Selbst mit elektronischen Tools war es Dohle et al. nicht möglich, eine signifikante Genauigkeit bei der Messung des DMAA zu erhalten (Dohle et al. 2008). Hinzu kommen eventuelle Unterschiede in der Aufnahmetechnik, die den Winkel in unserer Studie

möglicherweise generalisiert zu hoch erscheinen ließen. Eine Verbesserung konnte bei uns um rund 12° erzielt werden.

Es wird berichtet, dass ein positiver Metatarsale-Index prädisponierend für eine Hallux-valgus-Deformität ist (Bryant et al. 2000a). Wenn wir auch die Beziehung selbst nicht erforscht haben, finden wir im präoperativen Mittelwert ein positives Ergebnis, was durchschnittlich für einen „Plus-Index“ spricht. Der selbe Autor konnte ebenfalls eine signifikante Abnahme der Protrusionsdistanz nach Austinverfahren, wie sie bei uns aufgetreten ist, nachweisen (Bryant und Singer 1998).

Keine signifikanten Veränderungen fanden sich für den Metatarsus-adductus, den Calcaneus-Boden, MT1-Boden, Talocalcaneal- und Tibiotalar-Winkel. Dieses Ergebnis scheint nicht weiter verwunderlich, da die Operation am Vorfuß keinen Einfluss auf Rückfußparameter im Röntgenbild zu erwarten lässt. Plattfußdeformität und pathologische Rückfußpronation schienen keine Rolle zu spielen, wie bereits McCluney und Tinley in ihrer Studie herausfanden (McCluney und Tinley 2006). Ebenso blieb das Lageverhältnis zwischen Fußwurzel und Metatarsalia unbeeinflusst. Ein vergrößerter Metatarsus-adductus-Winkel konnte von uns nicht in Beziehung zu einer Hallux-valgus-Deformität gebracht werden, da dieser sowohl prä- als auch postoperativ mit einem Durchschnittswert von 16,7° keine pathologischen Werte annahm. Im Vergleich zu Studien an älteren Patienten, bei denen die Metatarsus-adductus-Prävalenz bei 29,5% (Aiyer et al. 2014) bzw. 33% lag (Loh et al. 2015), lag diese in unserer Studie bei niedrigen 25,7%.

Der Erfolg unserer Operation konnte zudem anhand der verbesserten Kongruenz und Skleroserate, sowie der niedrigeren Subluxationsneigung aufgezeigt werden.

8.3.3 Fußdruckmessung

8.3.3.1 Präoperative Analyse

Unser präoperativer Vergleich zwischen Hallux-valgus Gruppe und Kontrollgruppe ergab viele klinisch signifikante Unterschiede. Die Großzehe betreffend fanden wir verminderte Werte für Kontaktfläche ($A=7,44 \text{ cm}^2 \pm 2,70 \text{ cm}^2$) und die Kraft in %KG ($F=16,8 \text{ %KG} \pm 10,0\text{ %KG}$). Während viele Studien ebenso über eine Abnahme der Kontaktzeit und des Spitzendrucks berichten, konnten wir dies nicht signifikant belegen (Hurn et al. 2015, Koller et al. 2014). Die Verminderung der Kraft unter der Großzehe konnte hingegen zahlreich bereits an erwachsenen Patienten gefunden werden (Wen et al. 2012, Galica et al. 2013, Chopra et al. 2015). Soweit

bekannt, gibt es bisher nur eine Studie, die den Unterschied der Kontaktfläche zwischen Hallux-valgus-Patienten und gesunden Probanden festgestellt hat (Nyska et al. 1998). Wir gehen davon aus, dass es bei unseren jungen Patienten präoperativ schmerz- und angstbedingt zu einem verminderten Auftreten bzw. Abdrücken über die Großzehe kam. Dies würde die Unterschiede für beide Parameter erklären. Eine andere Studie vermutet eine Schwäche der kurzen Zehenflexoren als Ursache der verminderten Kraft (Hutton und Dhanendran 1981).

Genauso, wie Galica et al. beschreiben, kam es bei uns zu einer kompensatorischen Kraftzunahme unter den Zehen 3-5, was den Lateraltransfer der Kraft im Vorfuß verdeutlicht (Galica et al. 2013). In diesem Bereich kam es gleichzeitig zu einer signifikant verlängerten Kontaktzeit, ebenso wie unter den Metatarsalia 1-5 und dem Mittelfuß. Die Literatur zeigt Übereinstimmung mit der Kontaktzeitverlängerung im Mittelfußbereich (Chopra et al. 2015). Allerdings berichten Wen et al. von kürzeren Kontaktzeiten im Vor- und Mittelfußbereich bei Patienten. Wir fanden im Gegensatz dazu hier um im Durchschnitt 4% des ROP verlängerte Kontaktzeiten im Vergleich zur Kontrollgruppe. Wen et al. gestehen aber ein, dass es zu deutlich längeren Kontaktzeiten unter den MFK 1 und 2 kam, wenn die Patienten Schmerzen angaben (Wen et al. 2012). Vermutlich spielt auch hier wieder die Schmerzsymptomatik an der Großzehe bei den pädiatrischen Patienten eine entscheidende Rolle. Die in der Literatur beschriebene Verlängerung der Fersenkontaktzeit konnte von uns nicht beobachtet werden (Chopra et al. 2015). Scheinbar wird eine nicht signifikant verringerte Kontaktzeit der Großzehe bei Kindern vermehrt durch den Mittelfuß und die lateralen Zehen, als über die Ferse kompensiert.

Im Bereich des Rückfußes konnten wir allerdings für die drei übrigen Parameter signifikante Unterschiede zur Kontrollgruppe finden. So verringerten sich bei den jungen Patienten Kraft, Druck und Kontaktfläche, wohingegen der Gesamtdruck unter dem Fuß zunahm. Diese Beobachtung bestätigt die Feststellungen der Framingham-Studie (Galica et al. 2013) und der Studie von Nyska aus dem Jahr 1998 (Nyska et al. 1998). Da allerdings in unserer Studie keine Anzeichen für eine Rückfußproblematik anhand radiologischer Parameter vorliegt, scheint die Veränderung an der Großzehe der Haupteinflussfaktor für die pedobarografischen Veränderungen am Rückfuß zu sein.

Die Gesamtdruckzunahme ergibt sich vor allem aus der Zunahme des Drucks im Bereich der Metatarsalia 1 und 2. Dies wird auch, zumindest für das MFK 1 von Martinez-Nova et al. bestätigt (Martinez-Nova et al. 2010). Wen et al. berichten über eine Zunahme des Drucks unter den MFK 2 und 3 (Wen et al. 2012). Im Gegensatz dazu erläutert Waldecker in ihrer Studie

von einer Zunahme im Bereich der lateralen MFK (Waldecker 2002), die bei uns nicht signifikant beeinflusst schien. Dies zeigt sehr inkongruente Resultate für den Bereich der MFK, was bereits von Wen et al. bemängelt wurde. Da es bisher noch keine Fußdruckanalysestudien für pädiatrische Hallux-valgus-Füße gibt, kann womöglich von einer eher medialen Belastung der Metatarsalia anhand unserer Studie ausgegangen werden. Eine verminderte Kontaktfläche des MFK 2 stellt womöglich einen weiteren Grund für die größeren Drücke unter dieser Region dar. Verstärktes Auftreten von plantarer Hyperkeratose im Bereich des MFK 2 spricht ebenfalls für eine verstärkte Druckbelastung (Mann et al. 1992). Ein visueller Vergleich der Spitzendruckverteilung ist in Abb. 39 veranschaulicht.

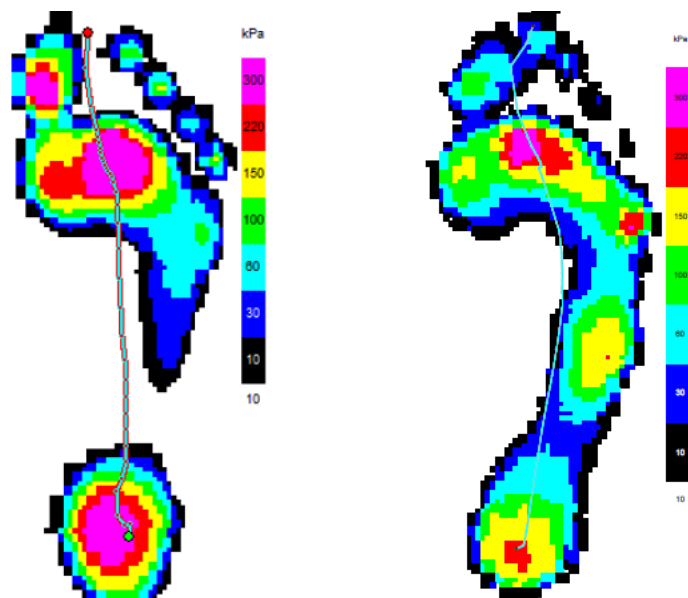


Abb. 39: Vergleich der Spitzendruckwerte zwischen gesundem Proband (links) und Hallux-valgus-Patient mit zusätzlicher Senkfußproblematik (rechts)

8.3.3.2 Postoperative Veränderungen

In der Gesamtheit konnten signifikante Anpassungen an das Kontrollkollektiv, vor allem im Rückfußbereich und im Bereich der Zehen 2-5 gefunden werden. Die zuvor signifikant veränderten Parameter für die Ferse wiesen postoperativ deutliche Verbesserungen auf. Lediglich die Kontaktfläche unterschied sich postoperativ noch von der Kontrolle. Man kann also davon ausgehen, dass sich eine Operation des Hallux valgus nicht nur auf den Vorfuß, sondern in diesem Fall auch positiv auf die Druckmessung des Rückfußes auswirkt und die präoperativ niedrigen Werte stabilisiert. Des Weiteren positiv zu bewerten ist die postoperative Anpassung der Zehenkontaktzeit von 2.-5. Zehe. Es scheint, dass es im Vorfuß nach einer Operation zu einem flüssigeren Abrollen beim Laufakt kommt. Die zweite Zehe, wenn auch

präoperativ und postoperativ nicht signifikant verändert von der Kontrollgruppe, zeigte eine Abnahme der relativen Kraft im prä-zu postoperativen Vergleich.

Betrachtet man die Veränderungen an der Großzehe, unterschieden sich alle 4 aufgezeichneten Parameter postoperativ signifikant von der Kontrollgruppe. Drei der Werte zeigten eine weitere signifikante Abnahme vom präoperativen Wert. Lediglich die Abnahme der Kontaktfläche stellte sich als nicht signifikant dar. Dies belegt die Aussage weiterer Studien, die eine fehlende Verbesserung der Vorfußbelastung nach einer Operation angeben (Kernozek et al. 1997, Cancilleri et al. 2008, King et al. 2014). Postoperativ kommt es zu weiterer Schonung der Großzehe, die physiologische Abroll- und Abdruckfunktion geht verloren. Im Gegensatz zu Bryant et al. und Schuh et al., die eine Verbesserung der Werte postoperativ nach einem Zeitraum von 12 bzw. 24 Monaten aufzeigten, gab es in unserer Studie mit einer durchschnittlichen Nachuntersuchungszeit von 47 Monaten keine zeitabhängige Verbesserung (Bryant et al. 2005, Schuh et al. 2008). Trotz des langen Nachuntersuchungszeitraums, zeigte sich die daraus folgende große Streubreite als nachteilig in unserer Studie.

Im Kontrast zur fehlenden Belastung unter der Großzehe lässt sich die Zunahme unter den Metatarsalia sehen. Postoperativ fanden wir im Vergleich zur Kontrollgruppe höhere Werte für Zeit und Druck unter allen Metatarsalia. Kam es aber bei der Druckveränderung zu schlechteren Werten gegenüber präoperativ, näherte sich die Kontaktzeit aller Metatarsalia den Kontrollwerten an. Besonders signifikante Verschlechterungen des Spitzendrucks war unter den MFK 1, 3 und 4 zu beobachten. Dies steht in starkem Kontrast zu den Studien von King et al. und Bryant et al., die keinerlei Veränderungen postoperativ an der Belastung der MFK fanden (Bryant et al. 2005, King et al. 2014). Andere Autoren berichten über lediglich unveränderte Verhältnisse unter dem lateralen Vorfuß, was dem MFK 4 und 5 entspricht (Cancilleri et al. 2008, Kernozek und Sterriker 2002). Diese Beobachtungen, zumindest für das MFK 5, können wir bestätigen. Komplett im Kontrast steht allerdings die Aussage Saros zu unserer, der eine Druckabnahme unter dem lateralen Vorfuß angab (Saro et al. 2007b). Was den medialen und zentralen Vorfuß angeht, konnten wir eine Druckzunahme unter MFK 1, eine Kraftzunahme unter MFK2 und eine Druckzunahme unter MFK 3 und 4 nachweisen. Diese Erhöhung der Belastung wird von vielen Autoren unterstützt (Kernozek und Sterriker 2002, Schuh et al. 2010). Cancilleri et al. fanden allerdings im Gegensatz zu unserer Studie einen verringerten Spitzendruck postoperativ unter MFK 1 (Cancilleri et al. 2008). Unterschiedliche Messplatten, Durchführungen bzw. Operationen und Nachuntersuchungszeiträume scheinen somit zu unterschiedlichen Ergebnissen zu führen. Da unsere Studie als einzige an Kindern durchgeführt wurde, lässt sich schlussfolgern, dass sie zwar zu Teilen mit den adulten Studien

verglichen werden kann, aber dennoch Unterschiede zu finden sind. Bei uns hat sich eine starke Entlastung der Großzehe postoperativ gezeigt, die durch eine vermehrte Belastung der Metatarsalia versucht wird von den Kindern zu kompensieren (siehe auch Abb. 40). Eine verminderte oder verstärkte Lateralisierung konnte nicht beobachtet werden, da es sich, wie den Abb. 30 und 32 in Kapitel 7.5.1 zu entnehmen ist, bei den Veränderungen an den MFK um ungefähr gleiche Beträge handelte.

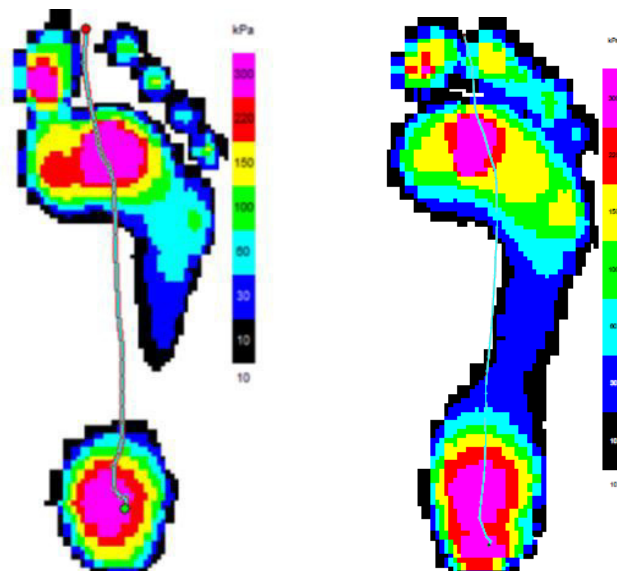


Abb. 40: Vergleich der Spitzendruckwerte zwischen gesundem Proband (links) und Hallux-valgus-Patient nach Operation (rechts)

8.3.3.3 Vergleich der Operationsverfahren

Postoperativ ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Verfahren. Im Gesamtbild kann man sagen, dass die Operation nach Chevron in unserer Studie die physiologischsten Werte erzielte. Nur in der Kontaktzeit kam es zu vielen signifikanten Unterschieden im Vergleich zur Kontrollgruppe. Hier kam es zu längeren Kontaktzeiten vor allem im Mittelfußbereich einschließlich der MFK. Unter der Großzehe konnte keiner der Parameter durch eine Operation in den Normbereich gebracht werden. Auch die Druckverhältnisse unter MFK 1-3 und die Kraft unter MFK 2 unterschieden sich noch signifikant von den gesunden Probanden. Dass eine Chevronoperation leider keine Verbesserung der Druckfehlverteilungen im Vor- und Mittelfußbereich erbringt, wurde bereits von mehreren Autoren bekräftigt. Hier konnte der Mangel an Belastung des Hallux (Cancilleri et al. 2008, King et al. 2014, Kernozek und Sterriker 2002), ebenso wie die Überlastung der medialen MFK postoperativ bestätigt werden (Bryant et al. 2005, Cancilleri et al. 2008, Kernozek und Sterriker 2002).

Die Gruppe der proximalen Osteotomie schnitt hinsichtlich der postoperativen Kraftmaxima und der Kontaktfläche am schlechtesten ab. Längere Kontaktzeiten, sowie kleinere Kontaktflächen konnten auch im Vergleich zu den anderen Gruppen gefunden werden. Ein gutes Ergebnis zeigte sich für die postoperativen Druckwerte unter Großzehe und MFK. Hier kam es bis auf MFK1 ($p = 0,006$) zu guten Annäherungen an die Norm. Allerdings konnte dieses Ergebnis nur erzielt werden, da es in der Gruppe präoperativ zu niedrigeren Drücken als in der Kontrollgruppe unter dem medialen Vorfuß kam. Insgesamt erhöhten sich die Spitzendruckwerte genauso, wie bei den anderen Operationsverfahren, was auch Brodsky et al. in ihrer Studie unter dem MFK 2 (Brodsky et al. 2006) bzw. Nyska et al. für den gesamten medialen Vorfuß, ausgeschlossen Großzehe, fanden (Nyska et al. 1998). Dies steht im Kontrast zur Studie von Schulze et al., die eine Abnahme der Spitzendrücke unter MFK 2 und 3 fanden (Schulze et al. 2001). Hier wurde allerdings das Augenmerk auf den Erhalt des MT1-Plus-Index gelegt, welcher evtl. mit einer Druckabnahme einhergeht. Von uns wurde kein Zusammenhang in diesem Sinne untersucht. Ebenso erscheint die kleine Patientenzahl von 8 in unserer proximalen Gruppe limitierend und für genaue Aussagen zu begrenzt.

In der Doppelosteotomiegruppe beobachteten wir die größten Abweichungen hinsichtlich des Drucks unter den Metatarsalia und der Großzehe postoperativ. Dafür konnten die besten Parameter für die postoperative Kontaktzeit der MFK erreicht werden. Als Erklärung für die postoperativ schlechten Spitzendruckwerte könnte die bereits präoperativ stark ausgeprägte Deformität der Großzehe herangezogen werden, unter der es bereits präoperativ zu Adaptationsmechanismen kam. Nach einer Operation schienen diese eine plantare Druckverteilung noch weiter zu verschlechtern. Leider gibt es hierzu auch in der Erwachsenenmedizin keine Studie, die die plantaren Druckveränderungen nach Doppelosteotomie wiedergeben. Bei unserem Vergleich der Outcomes zwischen den Gruppen zeigte eine Kombination aus distaler und proximaler Osteotomie vor allem unter MFK 4 größere Kraft- und Druckspitzen und kürzere Kontaktzeiten als die Chevrongruppe. Letzteres war außerdem unter der zweiten Zehe zu finden. Des Weiteren fanden sich höhere Spitzendrücke unter dem gesamten Fuß und dem MFK 5. Im Vergleich zur proximalen Gruppe fanden wir signifikant kürzere Zeiten unter MFK 4 und Ferse, sowie größere Kräfte unter dem MFK 5. Hier kann also durchaus von einer Lateralisierung der Belastung im Vorfußbereich gesprochen werden.

8.4 Diskussion der Korrelationsanalyse

Wir fanden mittelstarke negative Korrelationen des AOFAS Scores mit den Kontaktzeiten der MFK 3-5. Das heißt, dass längere Kontaktzeiten des lateralen Vorfußes in Beziehung zu einem schlechteren postoperativen Outcome stehen. Erklären lässt sich dies vermutlich über ein schmerzbedingtes Schonen des medialen Vorfußes und einer Kompensation über die verlängerte Kontaktzeit lateral. Erstaunlicherweise fanden wir keinen Einfluss des Drucks unter dem Hallux oder den Mittelfußköpfchen auf das klinische Outcome. Lediglich der Druck unter den Zehen 3-5 wies eine schwache positive Korrelation zum postoperativen Score auf. Dies steht im Gegensatz zu den Studien von Nova, Cancilleri und Dhukaram, die postoperative Korrelationen zwischen AOFAS und dem Druck unter der Großzehe fanden. Allerdings stellten sich diese Korrelationen sehr vielfältig dar. Während Dhukaram et al. über eine positive Korrelation zwischen AOFAS Score und dem mittleren Druck, Spitzendruck und der Kontaktzeit des Hallux berichten (Dhukaram et al. 2006), geben Cancilleri et al. eine negative Korrelation des Scores zum Druck unter dem Hallux und den MFK 1-4 an (Cancilleri et al. 2008). Martinez-Nova et al. fanden eine negative Korrelation zum mittleren Druck unter der Großzehe und eine positive Korrelation zum Druck der MFK 4 und 5 (Martinez-Nova et al. 2011). Ein Grund für den fehlenden Zusammenhang in unserer Studie könnte die fehlende Messung des mittleren Drucks sein. In den bereits genannten Studien kam es vor allem bei diesem zu signifikanten Werten. Inwieweit der AOFAS Vorfuß-Score das wirkliche klinische Outcome von pädiatrischen Patienten widerspiegelt, wurde ebenfalls noch nicht validiert (Gicquel et al. 2013).

Des weiteren konnte eine mittelstarke negative Korrelation des Schmerzniveaus postoperativ mit der Kraft unter der Großzehe von uns nachgewiesen werden. Das bedeutet, dass eine höhere Belastung unter der Großzehe mit stärkeren Schmerzen postoperativ einherging. Dies steht im positiven Zusammenhang zu anderen Studien, die schmerzbedingte Veränderungen bei Hallux valgus Patienten beobachtet haben. So fanden Wen et al. einen verringerten Druck unter der Großzehe und erhöhte Spitzendrucke unter den MFK 1,2 und der Ferse (Wen et al. 2012). Auch Waldecker fand in ihrer Studie zur Metatarsalgie erniedrigte Spitzendrucke unter der Großzehe (Waldecker 2002). Dies spricht für eine Vermeidung der postoperativen Belastung der Zehe, um Schmerzmomente zu umgehen. Auch die Kontaktzeit der Großzehe schien laut Wen signifikant verkürzt zu sein. In dieser Beziehung passt es, dass die Kraft unter der Großzehe, wie in unserer Studie ebenfalls, bei Schmerzen abnimmt ($p = F/t$). Patienten vermeiden aus diesem Grund postoperativ eine zu starke Belastung der Großzehe, die Folge kann ein

verändertes generelles Gangbild sein. Eine weitere negative Korrelation ergab sich für die Kontaktzeit der MFK 4 und 5. Dies lässt vermuten, dass es durch Schmerzen zu einem längeren Kontakt im lateralen Bereich des Vorfußes kommt. Womöglich wollen die Patienten bei Schmerzen den Abrollvorgang über die Großzehe verzögern, was zu den verlängerten Zeiten des Bodenkontakts der MFK 4 und 5 führt. Im Gegensatz dazu zeigten allerdings Wen et al. in ihrer Studie eine generelle Verkürzung der Vorfuß- und Verlängerung der Rückfußbelastung bei schmerzassoziierten Hallux-valgus-Fehlstellungen (Wen et al. 2012). Außerdem zeigte unsere Studie, dass größere Werte für die Kontaktflächen unter den MFK 1, 2 und 4 mit einem besseren Punktwert hinsichtlich des Schmerzes einhergingen. Dies war vor allem hoch signifikant für die Fläche unter dem MFK 1. Eine solche Beobachtung lässt schlussfolgern, dass Patienten mit weniger Schmerz den Vorfuß besser aufsetzen und die Kontaktfläche zunimmt. Saro et al. fanden hierzu unterstützend heraus, dass eine verringerte Kontaktfläche unter der Großzehe mit stärkeren Schmerzen korrelierte (Saro et al. 2007b).

Für die postoperative Achsenstellung konnten wir herausfinden, dass mittelstarke und somit wichtige Korrelationen zu Druck unter dem MFK4 und den Zehen 3-5, sowie zur Kontaktzeit des MFK 3 bestanden. Hier lässt sich vermuten, dass eine bessere Korrektur der Achse eine Druckumverteilung von dem MFK 4 auf die Zehen 3-5 fördert. Eine niedrigere Kontaktzeit unter dem MFK3 geht mit einer besseren Stellung einher und zeigt wiederum zusammen mit dem verringerten Druckgradienten unter dem MFK 4 die niedrigere Belastung der mittleren MFK bei Verbesserung der Stellung.

In der später durchgeführten Regressionsanalyse waren für uns ebenfalls die Einflussfaktoren für die Funktion der Großzehe wichtig. Bei der Korrelation konnte hierfür nur eine schwache Korrelation mit dem Druck unter dem Mittelfuß gefunden werden. Dies bedeutet, dass eine bessere Funktion mit höheren Druckwerten unter dem Mittelfuß einhergeht, was eine bessere Belastung des Fußes durch die Patienten bei guter Funktion nahe legt.

Korrelationen zwischen Radiologie und klinischem Outcome ergaben in unserer Studie wenig Zusammenhänge. Die meisten zeigten sich für die postoperative Achsenstellung. Es ist nicht verwunderlich, dass diese negative Korrelationen zu Hallux-valgus-Winkel, Subluxationsneigung und Gelenkkongruenz aufwies. Immerhin sind diese Werte für das Aussehen und die Ausrichtung der Großzehe charakteristisch. Zusätzlich kam es zu einer nicht überraschenden negativen Korrelation zwischen metatarsaler Protrusionsdistanz und Schuhwerk, was bedeutet, dass niedrigere Werte der Protrusion zu einer verbesserten Auswahlmöglichkeit des Schuhwerks führten. Keine signifikanten Korrelationen fanden wir zum AOFAS Score oder postoperativen Schmerz. Somit konnten wir aufzeigen, dass das

klinische Bild bei Kindern keine Hinweise auf Schmerzen oder Einschränkungen im Alltag gibt. Dies wurde bereits in der Erwachsenenmedizin unter Verwendung des Hallux-valgus- und Intermetatarsalewinkels festgestellt (Saro et al. 2007a, Chong et al. 2015, Jones et al. 2004). Uns ist nur eine Studie bekannt, in der es zu einer starken negativen Korrelation zwischen AOFAS Score und HV-bzw. IM-Winkel kam (Iliou et al. 2016). In dieser Studie wurden allerdings nur die präoperativen Werte korreliert.

Für die den Hallux valgus ausmachenden radiologischen Parameter konnten keine starken Korrelationen zur Fußdruckmessung gefunden werden. Dies bestätigten bereits Waldecker und Ferrari et al. in ihren Studien (Waldecker 2002, Ferrari und Watkinson 2005). Dennoch fanden wir mittelstarke Korrelationen der Parameter. Wir fanden u.a. positive Zusammenhänge des postoperativen Hallux-valgus-Winkels mit der Kontaktfläche der Großzehe und der Kraft unter dem MFK 3. Daraus lässt sich schließen, dass eine unzureichende Korrektur des Winkels mit einer stärkeren Belastung des MFK 3 einhergeht. Dass wir nur ein signifikantes Ergebnis für die Kontaktfläche unter der Zehe gefunden haben, zeigte sich im Gegensatz zu vielen Studien, die über eine Beziehung zwischen Hallux-valgus-Winkel und Druck unter der Großzehe berichten. Allerdings sind die Studien sich uneinig darüber, ob es zu einer positiven (Martinez-Nova et al. 2010) oder negativen Korrelation (Bryant et al. 2005) beider Parameter kommt. Wir konnten eine Studie finden, in der es im Gegensatz zu unserer Studie zu einer negativen Korrelation zwischen Hallux-valgus-Winkel und Kontaktfläche unter der Großzehe kam (Koller et al. 2014). Diese Studie fand allerdings an nicht operierten Probanden statt. Miskewitch et al. zeigten in ihrer Studie 1992 einen positiven Zusammenhang zwischen dem HV-Winkel und der Kraft unter den MFK 1 und 2 (Miskewitch 1992). Bei uns stellte sich dieser Zusammenhang eher für den mittleren als den medialen Vorfuß dar. Dass die Daten sich uneinig sind, wird auch durch Koller et al. gezeigt, die wiederum eine positive Korrelation zu den Parametern des MFK 5 fanden (Koller et al. 2014).

Zweiter definierender radiologischer Parameter ist der IM-Winkel. Hier zeigte sich eine mittelstarke Korrelation zu der Kontaktzeit der Zehen 3-5 und der Gesamtkontaktfläche des Fußes. Diese Daten sind schwierig zu interpretieren und lassen sich auch nicht mit bereits bestehender Literatur erklären. Hier fand man, wenn überhaupt, nur Korrelationen zum Druck unter den MFK 1 und 2 (Bryant et al. 2005, Martinez-Nova et al. 2010). Die meisten Studie zeigen keinen Zusammenhang des Intermetatarsalewinkels mit Fußdruckparametern (Koller et al. 2014).

Ein annähernd starker Zusammenhang hat sich zwischen der Kraft unter dem MFK 4 und der Subluxationsneigung des ersten Tarsometatarsalegelenks ergeben. So kam es bei unzureichender Einstellung und fehlender Wiederherstellung der Gelenksintegrität zu größeren Belastungen des MFK 4, was wiederum mit Fehlbelastung und Schmerzen einhergehen kann (Wen et al. 2012). Da es in unserer Studie zu keinen Rückfußauffälligkeiten kam, gehen wir nicht weiter auf die Korrelationen zu Rückfußparametern ein.

8.5 Diskussion der Regressionsanalyse

Im Rahmen der Regressionsanalyse konnten mehrere Dinge gezeigt werden.

1. Nur normierte Werte der Fußdruckmessung konnten den AOFAS Score postoperativ gut mittels Regressionsanalyse voraussagen.

Anhand unserer Annahme, dass nur Regressionsmodelle mit maximal 4 Variablen bei einer limitierten Fallzahl aussagekräftige Modelle darstellen, konnten nur normierte postoperative emed®-Daten den postoperativen AOFAS Score zuverlässig vorhersagen. Sowohl nicht-normierte Daten, als auch präoperative Fußdruckwerte und radiologische Parameter scheiterten an der limitierten Fallzahl und einer zu großen Anzahl von Einflussfaktoren. Die Normierung anhand von Kontrollwerten scheint also durchaus vorteilhaft. Dabei haben wir die quadratische Abweichung der einzelnen Patientenwerte von dem Mittelwert der Kontrollgruppe betrachtet. Durch diese Vorgehensweise wird dem Unterschied zu den physiologischen Werten mehr Bedeutung zugewichtet. Über die alleinigen Werte der Fußdruckmessung lässt sich keine Vorhersage des postoperativen Verlaufs ableiten. Lediglich durch den Einbezug der Kontrollgruppe und die quadratischen Abweichungen der Patientendaten von diesen ist es möglich zu einem ausreichenden Anteil den postoperativen klinischen Score vorher zu sagen.

2. Anhand von präoperativen emed®-Fußdruckmessungen lassen sich keine prognostischen Aussagen zum Outcome ableiten.

In Tab. 10 auf S.73 unter Punkt 7.5.3 kann man erkennen, dass der Versuch durch eine präoperative Fußdruckmessung das postoperative Outcome zu erklären, nicht möglich ist. Sowohl normiert, als auch nicht-normiert ergibt die Regression eine Variablenanzahl größer 4, was die Ableitung von Einflussfaktoren ungenau erscheinen lassen würde. Daraus ergibt sich, dass durch die Durchführung operativer Maßnahmen der präoperative Zustand der

Abrollbewegung keinen entscheidenden Einfluss mehr auf das postoperative Ergebnis im Sinne des AOFAS Scores hat. Dies unterstützt die Bedeutung eines operativen Eingriffs zur Verbesserung der klinischen Situation.

Bereits Thordarson et al. konnten in ihrer Studie an adulten Hallux valgus Probanden einen ähnlichen Effekt finden. Hier kam es zu keiner Verbindung zwischen dem präoperativen Schweregrad, gemessen an Hallux-valgus- bzw. Intermetatarsale-Winkel, und dem postoperativ gemessenen AOFAS Score (Thordarson et al. 2005). Eine Studie über Fußdruckparameter und Schmerz fand ebenfalls keine signifikanten Korrelationen (Saro et al. 2007b).

3. Postoperative radiologische Parameter haben keinen prädiktiven Wert für das klinische Outcome nach Operation.

Unsere lineare Regression zur Erklärung des postoperativen Outcomes mittels postoperativer radiologischer Parameter ergab keine eindeutigen Einflussfaktoren. Zwar ergaben die Korrelationen für postoperativen Score, Funktion und Schmerz eine Variablenanzahl kleiner gleich 4, allerdings lagen die Gütewerte im einstelligen Prozentbereich. Die 2%ige Regressionsgüte fügte sich alleine durch die Einflussvariable des AOFAS Scores präoperativ zusammen. Hier wurde keine der 14 radiologischen Parameter in die automatische lineare Regression einbezogen. Diese Unabhängigkeit des klinischen Outcomes von postoperativen radiologischen Parametern wurde bereits von mehreren anderen Studien an adulten Hallux valgus Patienten bestätigt. So berichteten Thordarson et al., dass weder der postoperative Hallux-valgus- und Intermetatarsale-Winkel, noch das Maß der Korrektur Einfluss auf den postoperativen AOFAS Score besaßen (Thordarson et al. 2005). Auch Chong et al. unterstützten diese Entdeckung, wobei sie den MOFXQ Score (Manchester-Oxford Foot Questionnaire) verwendeten (Chong et al. 2015). Studien über das Outcome nach Scarf Osteotomie, die wiederum den AOFAS Score erfassten, wiesen auf nur geringe Korrelationen zwischen dem postoperativen Score und radiologischen Parametern hin. Sie erfassten Korrelationskoeffizienten, die unter 0,45 bzw 0,40 lagen (Jones et al. 2004, Crevoisier et al. 2001). Garrido et al. gaben sogar Korrelationkoeffizienten von nur 0,021 für den HV-Winkel und 0,001 für den IM-Winkel an (Garrido et al. 2008). In ihrer Arbeit schussfolgerten Jones et al. daraus, dass der “AOFAS score may not be adequate for assessing outcome”(Jones et al. 2004). Diese Annahme scheint allerdings in Hinblick auf das Scheitern einer plausiblen Regression ebenso mit dem MOFXQ in den Hintergrund zu treten.

4. Ein guter Zusammenhang besteht zwischen dem klinischen Outcome und den funktionellen Parametern der Fußdruckmessung.

Das beste Ergebnis wurde zwischen den normierten Daten der emed[®]-Fußdruckmessung und dem postoperativen AOFAS Score erzielt. Bei einer Variablenanzahl von 4 und einer Regressionsgüte von 31,9% gehen wir von einem ausreichend guten Zusammenhang aus. Interessanterweise spielte der präoperativ erhobene Score keine Bedeutung bei der Auswertung der Einflussvariablen, was wiederum die Unerheblichkeit des präoperativen klinischen Zustand auf das postoperative Outcome widerspiegelt.

Zu 56% ging in die Regression die Einflussvariable "Zeit_MFK4" ein. Hier zeigte sich in der bivariaten Korrelation ebenfalls der größte Korrelationskoeffizient ($r = -0,370$) zum postoperativen Score. Dies legt die Vermutung nahe, dass eine vermehrte Kontaktzeit des MFK 4 mit niedrigeren Scorepunkten des AOFAS einhergeht. Daraus resultiert eine verstärkte Belastung des zentrolateralen Mittel- und Vorfußes, was wiederum zu Schmerz und Fehlbelastung und einem unphysiologischen Abrollvorgang führt. Möglicherweise wird der Abrollvorgang verzögert, was zu längeren Zeiten unter dem MFK 4 und tendenziell kürzeren Zeiten unter der Großzehe führt.

Unterstützt wird diese Annahme durch den Druck unter den Zehen 3-5, der zweitgrößten Einflussvariable der Regression mit rund 20%. Auch für diese konnte eine Korrelation mit dem AOFAS Score postoperativ gezeigt werden ($r = 0,282$). Die positive Korrelation veranschaulicht, dass erhöhte Druckwerte unter den Zehen 3 bis 5 zu einem besseren klinischen Outcome beitragen. Vermutlich ist dies damit zu erklären, dass eine Druckumverteilung auf den lateralen Vorfuß weniger Druck unter der Großzehe und dies weniger Schmerzen beim Patienten verursacht.

Einen ebenfalls positiven Koeffizienten ergibt die Fläche unter dem MFK 4, die eine Wichtigkeit von 15% aufweist. Cancilleri et al. berichteten in ihrer Studie über den Vergleich biomechanischer, radiologischer und klinischer Veränderungen nach Hallux valgus OP über eine negative Korrelation des AOFAS Scores mit dem Druck unter den Mittelfußköpfchen 1-4. Sie zeigten, dass eine verringerte Last unter dem Vorfuß (MFK1-4) zu einem besseren Outcome führt (Cancilleri et al. 2008). Da sich der Druck durch Kraft/Fläche definiert, lässt sich unser Resultat, dass eine Flächenzunahme unter dem MFK4 eine positive Einflussvariable des postoperativen Scores darstellt, erklären. Am wenigsten wichtig im Regressionsmodell mit 9% erwies sich der Druck unter der Großzehe, der einen negativen Effekt auf die Regressionsgleichung erzielte. Dies korrespondiert mit den Ergebnissen von Cancilleri et al. und Martinez-Nova et al., die beide eine negative Korrelation zwischen dem AOFAS Score und

dem Druck unter der Großzehe postoperativ fanden (Cancilleri et al. 2008, Martinez-Nova et al. 2010). Dass es sich dabei allerdings, wie bei uns, um einen schwachen Zusammenhang handelt, zeigt auch der nur geringe Korrelationskoeffizient von $r = 0,222$ (Martinez-Nova et al. 2010).

9. Schlussfolgerungen

Die Studie am orthopädischen Lehrkrankenhaus Eisenberg des Universitätsklinikums Jena von 1999 bis 2016 zum juvenilen Hallux valgus hat gezeigt, dass vor allem postoperative normierte emed[®]-Fußdruckdaten das klinische Outcome der Patienten am besten widerspiegeln.

Wir fanden heraus, dass es im pädiatrischen Patientengut zu einem guten Resultat nach Hallux-valgus-Operation kam. Objektiv konnte dies mit signifikanten Verbesserungen radiologischer Parameter bestätigt werden. Problematisch scheint die eingeschränkte postoperative Beweglichkeit der Großzehe zu bleiben.

Dies konnte auch mittels Fußdruckmessung bestätigt werden. Präoperativ kam es zu verringerter Maximalkraft und Kontaktfläche der Großzehe, vermehrter Kraft unter den Zehen 3-5, einer verminderten Rückfußbelastung und verstärkten Spitzendrücken unter den MFK 1 und 2. Dies lässt vermuten, dass die Deformität eine Lateralisierung der Kraftlinie des Fußes bewirkt und vermehrter Druck unter den medialen MFK zu Schmerzen und Schwielen in diesem Bereich führt. Eine Entlastung von Digitus 1 war zu beobachten und ist mit einer schmerzbedingten Schonung am ehesten zu erklären. Postoperativ kam es zu einer Annäherung an Normwerte im Rückfußbereich, wohingegen sich die Werte für die Großzehe weiter verschlechterten. Ebenso nahm die Belastung unter dem medialen und zentralen Vorfuß weiter zu. Aufgrund der relativ langen Nachuntersuchungszeit von durchschnittlich 47 Monaten ist davon auszugehen, dass diese Veränderungen nicht mit postoperativem Schmerz in Verbindung stehen, sondern als Adaptationsmechanismen nach Hallux-valgus-Operation stattfinden. Unsere Werte zeigen Parallelen zur Erwachsenenmedizin, sodass man davon ausgehen kann, dass es zu keinen großen Unterschieden im juvenilen Bereich kommt.

Als prognostisch entscheidend für das Outcome haben sich pedobarografische Daten ergeben, die anhand einer Kontrollgruppe normiert wurden. Dies betont den Unterschied zu physiologischen Werten. Besonderen Vorhersagewert haben hier Zeit und Fläche unter dem MFK 4, Druck unter den Zehen 3-5 und der Druck unter der Großzehe. Anhand von radiologischen Parametern konnte nicht auf das Outcome geschlussfolgert werden, was den Stellenwert der Fußdruckmessung in der postoperativen Diagnostik hervorheben sollte. Auch die präoperativ erhobenen Daten zu Klinik, Radiologie und Fußdruck hatten keinerlei Einfluss auf den postoperativen Score. Dies zeigt die Bedeutung des operativen Eingriffs. Ein Unterschied zwischen den Resultaten der drei verwandten Operationsverfahren konnte in unserer Studie nicht gefunden werden. Dennoch zeigten die postoperativen emed[®]-Werte in der

Chevrongruppe die physiologischsten Ergebnisse. Die Doppelosteotomie schnitt in dieser Hinsicht unzureichend ab.

Als Problem erwies sich die niedrige und unterschiedliche Patientenzahl pro Gruppe in unserer Studie, sowie die große Streubreite der Nachuntersuchungszeit. Sinnvoll wäre eine prospektive Studie, die sich mit den Unterschieden der Operationsverfahren befasst. Wir konnten zeigen, dass eine Normierung von Daten sinnvoll ist und eine Fußdruckmessung postoperativ das klinische Resultat besser widerspiegelt, als die Röntgenaufnahme der Zehe. Diese sollte zur Stellungs- und Konsolidierungskontrolle weiterhin durchgeführt werden, allerdings erscheint das biomechanische Outcome wesentlichen Einfluss auf postoperativen Schmerz und Funktionalität zu haben. Leider kommt es in der Kinderorthopädie, wie in der Erwachsenenmedizin nicht zu einer Normalisierung der Zehen- und Metatarsalebelastung. Hier gilt es in Zukunft mit postoperativer Physiotherapie oder neuen Verfahren Fortschritte zu einem physiologischeren Fußdruck zu erzielen.

10. Literatur- und Quellenverzeichnis

- Agrawal Y, Bajaj SK, Flowers MJ. 2015. Scarf-Akin osteotomy for hallux valgus in juvenile and adolescent patients. *J Pediatr Orthop B*, 24 (6):535-540.
- Aiyer AA, Shariff R, Ying L, Shub J, Myerson MS. 2014. Prevalence of Metatarsus Adductus in Patients Undergoing Hallux Valgus Surgery. *Foot & Ankle International*, 35 (12):1292-1297.
- Akin OF. 1925. The treatment of hallux valgus: A new operative procedure and its results. *Med Sentinel*, 33:678-679.
- Al-Nammari SS, Christofi T, Clark C. 2015. Double First Metatarsal and Akin Osteotomy for Severe Hallux Valgus. *Foot Ankle Int*, 36 (10):1215-1222.
- Anderson M, Blais MM, Green WT. 1956. Lengths of the growing foot. *J Bone Joint Surg Am*, 38-A (5):998-1000.
- Antrobus JN. 1984. The primary deformity in hallux valgus and metatarsus primus varus. *Clin Orthop Relat Res*, (184):251-255.
- Arbab D, Wingenfeld C, Frank D, Bouillon B, König DP. 2016. [Distal soft-tissue procedure in hallux valgus deformity]. *Oper Orthop Traumatol*, 28 (2):128-137.
- Austin DW, Leventen EO. 1981. A new osteotomy for hallux valgus: a horizontally directed "V" displacement osteotomy of the metatarsal head for hallux valgus and primus varus. *Clin Orthop Relat Res*, (157):25-30.
- Banks AS, Hsu YS, Mariash S, Zirm R. 1994. Juvenile hallux abducto valgus association with metatarsus adductus. *J Am Podiatr Med Assoc*, 84 (5):219-224.
- Barnicot NA, Hardy RH. 1955. The position of the hallux in West Africans. *J Anat*, 89 (3):355-361.
- Baumgartner R, Stinus H, Böhler A. 2001. Die orthopädietechnische Versorgung des Fusses. Thieme.
- Bayar B, Erel S, Engin I. 2011. The effects of taping and foot exercises on patients with hallux valgus: a preliminary study. *Turk J Med Sci*, (41):403.
- Berg EE. 1986. A reappraisal of metatarsus adductus and skewfoot. *J Bone Joint Surg Am*, 68 (8):1185-1196.
- Berlet GC, Hyer CF, Glover JP. 2008. A retrospective review of immediate weightbearing after first metatarsophalangeal joint arthrodesis. *Foot Ankle Spec*, 1 (1):24-28.
- Betts RP, Franks CI, Duckworth T. 1980. Analysis of pressure and loads under the foot. Part II: Quantitation of the dynamic distribution. *Clin Phys Physiol Meas*, 1 (2):113-124.
- Blomgren M, Turan I, Agadir M. 1991. Gait analysis in hallux valgus. *J Foot Surg*, 30 (1):70-71.
- Bonney G, Macnab I. 1952. Hallux valgus and hallux rigidus; a critical survey of operative results. *J Bone Joint Surg Br*, 34-B (3):366-385.
- Bosch K, Gerss J, Rosenbaum D. 2010. Development of healthy children's feet--nine-year results of a longitudinal investigation of plantar loading patterns. *Gait Posture*, 32 (4):564-571.
- Brodsky JW, Beischer AD, Robinson AH, Westra S, Negrine JP, Shabat S. 2006. Surgery for hallux valgus with proximal crescentic osteotomy causes variable postoperative pressure patterns. *Clin Orthop Relat Res*, 443:280-286.
- Bryant A, Tinley P, Singer K. 2000a. A comparison of radiographic measurements in normal, hallux valgus, and hallux limitus feet. *J Foot Ankle Surg*, 39 (1):39-43.
- Bryant AR, Singer KP. 1998. Review of radiographic measurements following Austin bunionectomy. *J Am Podiatr Med Assoc*, 88 (6):290-294.
- Bryant AR, Tinley P, Singer KP. 2000b. Normal values of plantar pressure measurements determined using the EMED-SF system. *J Am Podiatr Med Assoc*, 90 (6):295-299.

- Bryant AR, Tinley P, Cole JH. 2005. Plantar pressure and radiographic changes to the forefoot after the Austin bunionectomy. *J Am Podiatr Med Assoc*, 95 (4):357-365.
- Cancilleri F, Marinozzi A, Martinelli N, Ippolito M, Spiezia F, Ronconi P, Denaro V. 2008. Comparison of plantar pressure, clinical, and radiographic changes of the forefoot after biplanar Austin osteotomy and triplanar Boc osteotomy in patients with mild hallux valgus. *Foot Ankle Int*, 29 (8):817-824.
- Canovas F, Poiree G, Bonnel F, Vergnes N, Nicolau F, el Hammami R. 1998. [Radiographic analysis of the orientation of the distal articular surface of the first metatarsal in the horizontal plane]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 84 (6):546-549.
- Castaneda DA, Myerson MS, Neufeld SK. 2013. The Ludloff osteotomy: a review of current concepts. *Int Orthop*, 37 (9):1661-1668.
- Catanese D, Popowitz D, Gladstein AZ. 2014. Measuring sesamoid position in hallux valgus: when is the sesamoid axial view necessary? *Foot Ankle Spec*, 7 (6):457-459.
- Cavanagh PR, Ae M. 1980. A technique for the display of pressure distributions beneath the foot. *J Biomech*, 13 (2):69-75.
- Cetti R, Christensen SE. 1983. Double oblique displacement osteotomy for hallux valgus. *Acta Orthop Scand*, 54 (6):938-942.
- Chacon Y, Fallat LM, Dau N, Bir C. 2012. Biomechanical comparison of internal fixation techniques for the Akin osteotomy of the proximal phalanx. *J Foot Ankle Surg*, 51 (5):561-565.
- Chadchavalpanichaya N, Prakotmongkol V, Polhan N, Rayothee P, Seng-Iad S. 2017. Effectiveness of the custom-mold room temperature vulcanizing silicone toe separator on hallux valgus: A prospective, randomized single-blinded controlled trial. *Prosthet Orthot Int*:309364617698518.
- Chell J, Dhar S. 2014. Pediatric hallux valgus. *Foot Ankle Clin*, 19 (2):235-243.
- Cheng JC, Leung SS, Leung AK, Guo X, Sher A, Mak AF. 1997. Change of foot size with weightbearing. A study of 2829 children 3 to 18 years of age. *Clin Orthop Relat Res*, (342):123-131.
- Chhaya SA, Brawner M, Hobbs P, Chhaya N, Garcia G, Lored R. 2008. Understanding hallux valgus deformity: what the surgeon wants to know from the conventional radiograph. *Curr Probl Diagn Radiol*, 37 (3):127-137.
- Chi TD, Davitt J, Younger A, Holt S, Sangeorzan BJ. 2002. Intra- and inter-observer reliability of the distal metatarsal articular angle in adult hallux valgus. *Foot Ankle Int*, 23 (8):722-726.
- Cholmeley JA. 1958. Hallux valgus in adolescents. *Proc R Soc Med*, 51 (11):903-906.
- Chong A, Nazarian N, Chandrananth J, Tacey M, Shepherd D, Tran P. 2015. Surgery for the correction of hallux valgus: minimum five-year results with a validated patient-reported outcome tool and regression analysis. *Bone Joint J*, 97-B (2):208-214.
- Chopra S, Moerenhout K, Crevoisier X. 2015. Characterization of gait in female patients with moderate to severe hallux valgus deformity. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 30 (6):629-635.
- Clancy JT, Berlin SJ, Giordano ML, Sherman SA. 1989. Modified Austin bunionectomy with single screw fixation: a comparison study. *J Foot Surg*, 28 (4):284-289.
- Clark HR, Veith RG, Hansen ST, Jr. 1987. Adolescent bunions treated by the modified Lapidus procedure. *Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst*, 47 (2):109-122.
- Cole AE. 1959. Foot inspection of the school child. *J Am Podiatry Assoc*, 49:446-454.
- Coughlin MJ. 1995a. Women's shoe wear and foot disorders. *West J Med*, 163 (6):569-570.
- Coughlin MJ. 1995b. Roger A. Mann Award. Juvenile hallux valgus: etiology and treatment. *Foot Ankle Int*, 16 (11):682-697.
- Coughlin MJ. 1996. Hallux valgus. *J Bone Joint Surg Am*, 78 (6):932-966.

- Coughlin MJ, Shurnas PS. 2003. Hallux rigidus: demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot Ankle Int*, 24 (10):731-743.
- Coughlin MJ, Grimes S. 2005. Proximal metatarsal osteotomy and distal soft tissue reconstruction as treatment for hallux valgus deformity. *Keio J Med*, 54 (2):60-65.
- Coughlin MJ, Jones CP. 2007. Hallux valgus: demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot Ankle Int*, 28 (7):759-777.
- Crespo Romero E, Arcas Ordone A, Penuela Candel R, Gomez Gomez S, Arias Arias A, Galvez Gonzalez J, Crespo Romero R. 2017. Percutaneous Hallux Valgus Surgery Without Distal Metatarsal Articular Angle Correction. *Foot Ankle Spec*:1938640016685147.
- Crevoisier X, Mouhsine E, Ortolano V, Udin B, Dutoit M. 2001. The scarf osteotomy for the treatment of hallux valgus deformity: a review of 84 cases. *Foot Ankle Int*, 22 (12):970-976.
- Dauids JR, Mason TA, Danko A, Banks D, Blackhurst D. 2001. Surgical management of hallux valgus deformity in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*, 21 (1):89-94.
- Dawoodi AI, Perera A. 2012a. Radiological assessment of metatarsus adductus. *Foot Ankle Surg*, 18 (1):1-8.
- Dawoodi AI, Perera A. 2012b. Reliability of metatarsus adductus angle and correlation with hallux valgus. *Foot Ankle Surg*, 18 (3):180-186.
- Debrunner HU, Jacobs H. 1998. Biomechanik des Fußes. Stuttgart: Enke Verlag.
- Dhukaram V, Hullin MG, Senthil Kumar C. 2006. The Mitchell and Scarf osteotomies for hallux valgus correction: a retrospective, comparative analysis using plantar pressures. *J Foot Ankle Surg*, 45 (6):400-409.
- Dixon AE, Lee LC, Charlton TP, Thordarson DB. 2015. Increased Incidence and Severity of Postoperative Radiographic Hallux Valgus Interphalangeus With Surgical Correction of Hallux Valgus. *Foot Ankle Int*, 36 (8):961-968.
- Dohle J, Marques A, Sondergeld E. 2008. Radiologische Vermessung von Fehlstellungen des 1. Strahles am Fuß - ein Vergleich von 3 Verfahren. *Fuß und Sprunggelenk*, 7:6-13.
- Dominguez G, Munuera PV. 2008. Metatarsus adductus angle in male and female feet: normal values with two measurement techniques. *J Am Podiatr Med Assoc*, 98 (5):364-369.
- du Plessis M, Zipfel B, Brantingham JW, Parkin-Smith GF, Birdsey P, Globe G, Cassa TK. 2011. Manual and manipulative therapy compared to night splint for symptomatic hallux abducto valgus: an exploratory randomised clinical trial. *Foot (Edinb)*, 21 (2):71-78.
- Dutoit M. 1998. Hallux valgus: Diaphysäre Osteotomie des Metatarsale I. In: Wülker N, Stephens M, Cracchiolo A, Hrsg. *Operationsatlas Fuß und Sprunggelenk*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 29-33.
- Edmonds EW, Ek D, Bomar JD, Joffe A, Mubarak SJ. 2015. Preliminary radiographic outcomes of surgical correction in juvenile hallux valgus: single proximal, single distal versus double osteotomies. *J Pediatr Orthop*, 35 (3):307-313.
- Farrar NG, Duncan N, Ahmed N, Rajan RA. 2012. Scarf osteotomy in the management of symptomatic adolescent hallux valgus. *J Child Orthop*, 6 (2):153-157.
- Farsetti P, Weinstein SL, Ponseti IV. 1994. The long-term functional and radiographic outcomes of untreated and non-operatively treated metatarsus adductus. *J Bone Joint Surg Am*, 76 (2):257-265.
- Feitenhansl A. 2003. Klinische und röntgenologische Ergebnisse nach Therapie des Hallux valgus und Hallux rigidus in der Technik nach Keller-Brandes München: Ludwig-Maximilians-Universität München.

- Ferrari J, Malone-Lee J. 2002. The shape of the metatarsal head as a cause of hallux abductovalgus. *Foot Ankle Int*, 23 (3):236-242.
- Ferrari J, Malone-Lee J. 2003. A radiographic study of the relationship between metatarsus adductus and hallux valgus. *J Foot Ankle Surg*, 42 (1):9-14.
- Ferrari J, Watkinson D. 2005. Foot pressure measurement differences between boys and girls with reference to hallux valgus deformity and hypermobility. *Foot Ankle Int*, 26 (9):739-747.
- Ferrari J, Hopkinson DA, Linney AD. 2004. Size and shape differences between male and female foot bones: is the female foot predisposed to hallux abducto valgus deformity? *J Am Podiatr Med Assoc*, 94 (5):434-452.
- Frischhut B, Butschek R, Went P. 1996. [Magerl's subcapital osteotomy in the treatment of hallux valgus]. *Orthopade*, 25 (4):317-323.
- Fuhrmann RA. 2013. [Therapy of pediatric hallux valgus]. *Orthopade*, 42 (1):38-44.
- Galica AM, Hagedorn TJ, Dufour AB, Riskowski JL, Hillstrom HJ, Casey VA, Hannan MT. 2013. Hallux valgus and plantar pressure loading: the Framingham foot study. *J Foot Ankle Res*, 6 (1):42.
- Garrido IM, Rubio ER, Bosch MN, Gonzalez MS, Paz GB, Llabres AJ. 2008. Scarf and Akin osteotomies for moderate and severe hallux valgus: clinical and radiographic results. *Foot Ankle Surg*, 14 (4):194-203.
- Gentili A, Masih S, Yao L, Seeger LL. 1996. Pictorial review: foot axes and angles. *Br J Radiol*, 69 (826):968-974.
- Gicquel T, Fraisse B, Marleix S, Chapuis M, Violas P. 2013. Percutaneous hallux valgus surgery in children: short-term outcomes of 33 cases. *Orthop Traumatol Surg Res*, 99 (4):433-439.
- Glasoe WM, Nuckley DJ, Ludewig PM. 2010. Hallux valgus and the first metatarsal arch segment: a theoretical biomechanical perspective. *Phys Ther*, 90 (1):110-120.
- Grace D, Hughes J, Klenerman L. 1988. A comparison of Wilson and Hohmann osteotomies in the treatment of hallux valgus. *J Bone Joint Surg Br*, 70 (2):236-241.
- Grace D, Delmonte R, Catanzariti AR, Hofbauer M. 1999. Modified lapidus arthrodesis for adolescent hallux abducto valgus. *J Foot Ankle Surg*, 38 (1):8-13.
- Grawe B, Parikh S, Crawford A, Tamai J. 2012. Hallux valgus interphalangeus deformity: A case series in the pediatric population. *Foot Ankle Surg*, 18 (1):e4-8.
- Grebing BR, Coughlin MJ. 2004. Evaluation of Morton's theory of second metatarsal hypertrophy. *J Bone Joint Surg Am*, 86-A (7):1375-1386.
- Grill F, Hetherington V, Steinbock G, Altenhuber J. 1986. Experiences with the chevron (V-)osteotomy on adolescent hallux valgus. *Arch Orthop Trauma Surg*, 106 (1):47-51.
- Grimes JS, Coughlin MJ. 2006. First metatarsophalangeal joint arthrodesis as a treatment for failed hallux valgus surgery. *Foot Ankle Int*, 27 (11):887-893.
- Groiso JA. 1992. Juvenile hallux valgus. A conservative approach to treatment. *J Bone Joint Surg Am*, 74 (9):1367-1374.
- Halebian JD, Gaines SS. 1983. Juvenile hallux valgus. *J Foot Surg*, 22 (4):290-293.
- Harb Z, Kokkinakis M, Ismail H, Spence G. 2015. Adolescent hallux valgus: a systematic review of outcomes following surgery. *J Child Orthop*, 9 (2):105-112.
- Hardy RH, Clapham JC. 1951. Observations on hallux valgus; based on a controlled series. *J Bone Joint Surg Br*, 33-B (3):376-391.
- Hassan N, Roger J. 2015. Management of Metatarsus Adductus, Bean-Shaped Foot, Residual Clubfoot Adduction and Z-Shaped Foot in Children, with Conservative Treatment and Double Column Osteotomy of the First Cuneiform and the Cuboid. *Ann Orthop Rheumatol*, 3 (1050).
- Hefti F, Grill F, Brunner R, Freuler F, Hasler C, Jundt G. 2006. Juveniler Hallux valgus. *Kinderorthopädie in der Praxis*. Berlin

- Heidelberg: Springer, 418-422.
- Helal B. 1981. Surgery for adolescent hallux valgus. *Clin Orthop Relat Res*, (157):50-63.
- Helal B, Gupta SK, Gojaseni P. 1974. Surgery for adolescent hallux valgus. *Acta Orthop Scand*, 45 (2):271-295.
- Hennig E. 1990. [Pressure distribution pattern in relation to foot structure during muscular active and passive load impacts]. *Sportverletz Sportschaden*, 4 (3):109-116.
- Hennig EM, Rosenbaum D. 1991. Pressure distribution patterns under the feet of children in comparison with adults. *Foot Ankle*, 11 (5):306-311.
- Hennig EM, Staats A, Rosenbaum D. 1994. Plantar pressure distribution patterns of young school children in comparison to adults. *Foot Ankle Int*, 15 (1):35-40.
- Hepp WR, Debrunner HU. 2004. *Orthopädisches Diagnostikum*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Hiss MJ. 1931. Hallux valgus: Its cause and simplified treatment. *Am J Surg*, 11:51-57.
- Hohmann G. 1922. Über ein Verfahren zur Behandlung des Spreizfußes. *Zbl Chir*, 21:1933-1935.
- Houghton GR, Dickson RA. 1979. Hallux valgus in the younger patient: the structural abnormality. *J Bone Joint Surg Br*, 61-B (2):176-177.
- Hurn SE, Vincenzino B, Smith MD. 2015. Functional impairments characterizing mild, moderate, and severe hallux valgus. *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 67 (1):80-88.
- Hutton WC, Dhanendran M. 1981. The mechanics of normal and hallux valgus feet--a quantitative study. *Clin Orthop Relat Res*, (157):7-13.
- Iliou K, Paraskevas G, Kanavaros P, Barbouti A, Vrettakos A, Gekas C, Kitsoulis P. 2016. Correlation between Manchester Grading Scale and American Orthopaedic Foot and Ankle Society Score in Patients with Hallux Valgus. *Med Princ Pract*, 25 (1):21-24.
- Jani L, Thielemann F, Günther KP. 2009. *Kinderorthopädie*. In: Speer CP, Gahr M, Hrsg. Pädiatrie. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 790-814.
- Jastifer JR, Coughlin MJ, Schutt S, Hirose C, Kennedy M, Grebing B, Smith B, Cooper T, Golano P, Viladot R, Doty JF. 2014. Comparison of radiographic and anatomic distal metatarsal articular angle in cadaver feet. *Foot Ankle Int*, 35 (4):389-393.
- Jeon MY, Jeong HC, Jeong MS, Lee YJ, Kim JO, Lee ST, Lim NY. 2004. Effects of taping therapy on the deformed angle of the foot and pain in hallux valgus patients. *Taehan Kanho Hakhoe Chi* 34 (5):685-692.
- Jerosch J. 2009. Diaphysäre Metatarsale-I-Osteotomien. In: Jerosch J, Heisel J, Hrsg. Operative Therapie von Fuß und Sprunggelenk: Fußchirurgie in Klinik und Praxis. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 197-206.
- Jerosch J, Heisel J. 2009. Operationen bei Hallux valgus und Hallux rigidus. In: Jerosch J, Heisel J, Hrsg. Operative Therapie von Fuß und Sprunggelenk: Fußchirurgie in Klinik und Praxis. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 183-231.
- Jochymek J, Peterkova T. 2016. Double Osteotomy of the First Metatarsal for Treatment of Juvenile Hallux Valgus Deformity - Our Experience. *Acta Chirurgiae Orthopaedicae Et Traumatologiae Cechoslovaca*, 83 (1):32-37.
- John S, Weil L, Jr., Weil LS, Sr., Chase K. 2010. Scarf osteotomy for the correction of adolescent hallux valgus. *Foot Ankle Spec*, 3 (1):10-14.
- Johnson AE, Georgopoulos G, Erickson MA, Eilert R. 2004. Treatment of adolescent hallux valgus with the first metatarsal double osteotomy: the denver experience. *J Pediatr Orthop*, 24 (4):358-362.
- Johnson KA. 1994. Chevron osteotomy. In: Johnson KA, Hrsg. Master Techniques in Orthopaedic Surgery: The Foot and Ankle. New York, NY: Raven Press, 31-48.
- Johnston O. 1956. Further studies of the inheritance of hand and foot anomalies. *Clin Orthop*, 8:146-160.
- Jones AR. 1948. Hallux valgus in the adolescent. *Proc R Soc Med*, 41 (6):392.

- Jones S, Al Hussainy HA, Ali F, Betts RP, Flowers MJ. 2004. Scarf osteotomy for hallux valgus. A prospective clinical and pedobarographic study. *J Bone Joint Surg Br*, 86 (6):830-836.
- Joseph TN, Mroczek KJ. 2007. Decision making in the treatment of hallux valgus. *Bull NYU Hosp Jt Dis*, 65 (1):19-23.
- Kayiaros S, Blankenhorn BD, Dehaven J, Van Lancker H, Sardella P, Pascalides JT, Digiovanni CW. 2011. Correction of metatarsus primus varus associated with hallux valgus deformity using the arthrex mini tightrope: a report of 44 cases. *Foot Ankle Spec*, 4 (4):212-217.
- Kempe SA, Singer RH. 1985. The modified McBride bunionectomy utilizing the adductor tendon transfer. *J Foot Surg*, 24 (1):24-29.
- Kernozek T, Roehrs T, McGarvey S. 1997. Analysis of plantar loading parameters pre and post surgical intervention for hallux valgus. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 12 (3):S18-S19.
- Kernozek TW, Sterriker SA. 2002. Chevron (Austin) distal metatarsal osteotomy for hallux valgus: comparison of pre- and post-surgical characteristics. *Foot Ankle Int*, 23 (6):503-508.
- Kilmartin TE, Wallace WA. 1992. The significance of pes planus in juvenile hallux valgus. *Foot Ankle*, 13 (2):53-56.
- Kilmartin TE, Barrington RL, Wallace WA. 1991. Metatarsus primus varus. A statistical study. *J Bone Joint Surg Br*, 73 (6):937-940.
- Kilmartin TE, Barrington RL, Wallace WA. 1994. A controlled prospective trial of a foot orthosis for juvenile hallux valgus. *J Bone Joint Surg Br*, 76 (2):210-214.
- King CM, Hamilton GA, Ford LA. 2014. Effects of the lapidus arthrodesis and chevron bunionectomy on plantar forefoot pressures. *J Foot Ankle Surg*, 53 (4):415-419.
- Kitaoka HB, Franco MG, Weaver AL, Ilstrup DM. 1991. Simple bunionectomy with medial capsulorrhaphy. *Foot Ankle*, 12 (2):86-91.
- Klein C, Groll-Knapp E, Kundi M, Kinz W. 2009. Increased hallux angle in children and its association with insufficient length of footwear: a community based cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord*, 10:159.
- Klosok JK, Pring DJ, Jessop JH, Maffulli N. 1993. Chevron or Wilson metatarsal osteotomy for hallux valgus. A prospective randomised trial. *J Bone Joint Surg Br*, 75 (5):825-829.
- Knecht JG, VanPelt WL. 1981. Austin bunionectomy with Kirschner wire fixation. *J Am Podiatry Assoc*, 71 (3):139-144.
- Koller U, Willegger M, Windhager R, Wanivenhaus A, Trnka HJ, Schuh R. 2014. Plantar pressure characteristics in hallux valgus feet. *J Orthop Res*.
- Kramer J. 1990. Die Kramer-Osteotomie zur Behandlung des Hallux valgus und des Digitus quintus varus. *Operat Orthop Traumatol*, 2:14-38.
- Kraus T, Singer G, Svehlik M, Kaltenbach J, Eberl R, Linhart W. 2013. Long-term outcome of chevron-osteotomy in juvenile hallux valgus. *Acta Orthop Belg*, 79 (5):552-558.
- Kumar S, Pradhan R, Rosenfeld PF. 2010. First metatarsophalangeal arthrodesis using a dorsal plate and a compression screw. *Foot Ankle Int*, 31 (9):797-801.
- Kundert HP, Zollinger-Kies H. 2005. [Endoprosthetic replacement of hallux rigidus]. *Orthopade*, 34 (8):748-757.
- La Reaux RL, Lee BR. 1987. Metatarsus adductus and hallux abducto valgus: their correlation. *J Foot Surg*, 26 (4):304-308.
- Loh B, Chen JY, Yew AK, Chong HC, Yeo MG, Tao P, Yeo NE, Koo K, Rikhranj Singh I. 2015. Prevalence of Metatarsus Adductus in Symptomatic Hallux Valgus and Its Influence on Functional Outcome. *Foot Ankle Int*, 36 (11):1316-1321.

- Lowery NJ, Wukich DK. 2009. Adolescent Hallux valgus: Evaluation and Treatment. *Operative Techniques in Orthopaedics*, (19):52-57.
- Lynch FR. 1995. Applications of the opening wedge cuneiform osteotomy in the surgical repair of juvenile hallux abducto valgus. *J Foot Ankle Surg*, 34 (2):103-123.
- Lynch FR, Marcinko DE. 1994. Hallux-valgus-Chirurgie im Kindesalter. In: Marcinko DE, Hrsg. *Hallux valgus: Morphologie, Klinik, operative Therapie*. Berlin: Ullstein Mosby, 197-215.
- Magerl F. 1982. [Stable osteotomies for treatment of hallux valgus and metatarsus primus varus]. *Orthopade*, 11 (4):170-180.
- Mahan KT, Jacko J. 1991. Juvenile hallux valgus with compensated metatarsus adductus. Case report. *J Am Podiatr Med Assoc*, 81 (10):525-530.
- Mann RA, Rudicel S, Graves SC. 1992. Repair of hallux valgus with a distal soft-tissue procedure and proximal metatarsal osteotomy. A long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am*, 74 (1):124-129.
- Marshall TJ, Shung JR, Khoury JG. 2014. Adolescent hallux valgus revisited. *Orthopedics*, 37 (8):531-535.
- Martinez-Nova A, Sanchez-Rodriguez R, Leal-Muro A, Pedrera-Zamorano JD. 2011. Dynamic plantar pressure analysis and midterm outcomes in percutaneous correction for mild hallux valgus. *J Orthop Res*, 29 (11):1700-1706.
- Martinez-Nova A, Sanchez-Rodriguez R, Leal-Muro A, Sanchez-Barrado E, Pedrera-Zamorano JD. 2008. Percutaneous distal soft tissue release-akin procedure, clinical and podobarometric assessment with the BioFoot in-shoe system: a preliminary report. *Foot Ankle Spec*, 1 (4):222-230.
- Martinez-Nova A, Sanchez-Rodriguez R, Perez-Soriano P, Llana-Belloch S, Leal-Muro A, Pedrera-Zamorano JD. 2010. Plantar pressures determinants in mild Hallux Valgus. *Gait Posture*, 32 (3):425-427.
- Mathew PG, Sponer P, Pavlata J, Shaikh HH. 2012. Our experience with double metatarsal osteotomy in the treatment of hallux valgus. *Acta Medica (Hradec Kralove)*, 55 (1):37-41.
- McBride ED. 1928. A conservative operation for bunions. *J Bone Joint Surg*, 10:735-739.
- McCluney JG, Tinley P. 2006. Radiographic measurements of patients with juvenile hallux valgus compared with age-matched controls: a cohort investigation. *J Foot Ankle Surg*, 45 (3):161-167.
- Merkel KD, Katoh Y, Johnson EW, Jr., Chao EY. 1983. Mitchell osteotomy for hallux valgus: long-term follow-up and gait analysis. *Foot Ankle*, 3 (4):189-196.
- Meyer JM, Hoffmeyer P, Borst F. 1987. The treatment of hallux valgus in runners using a modified McBride procedure. *Int Orthop*, 11 (3):197-200.
- Meyers-Rice B, Sugars L, McPoil T, Cornwall MW. 1994. Comparison of three methods for obtaining plantar pressures in nonpathologic subjects. *J Am Podiatr Med Assoc*, 84 (10):499-504.
- Milani TL, Retzlaff S. 1995. [Analysis of pressure distribution for the evaluation of gait in patients with hallux valgus surgery]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 133 (4):341-346.
- Miskewitch VA. 1992. The pressure distribution in hallux valgus feet before and after surgery. *Eur J Phys Med Rehabil*, 2 (4):4-10.
- Mitchell CL, Fleming JL, Allen R, Glenney C, Sanford GA. 1958. Osteotomy-bunionectomy for hallux valgus. *J Bone Joint Surg Am*, 40-A (1):41-58; discussion 59-60.
- Mittal D, Raja S, Geary NP. 2006. The modified McBride procedure: clinical, radiological, and pedobarographic evaluations. *J Foot Ankle Surg*, 45 (4):235-239.
- Munuera PV, Dominguez G, Reina M, Trujillo P. 2007. Bipartite hallucal sesamoid bones: relationship with hallux valgus and metatarsal index. *Skeletal Radiol*, 36 (11):1043-1050.

- Murley GS, Menz HB, Landorf KB. 2009. A protocol for classifying normal- and flat-arched foot posture for research studies using clinical and radiographic measurements. *J Foot Ankle Res*, 2:22.
- Naal FD, Impellizzeri FM, Huber M, Rippstein PF. 2008. Cross-cultural adaptation and validation of the Foot Function Index for use in German-speaking patients with foot complaints. *Foot Ankle Int*, 29 (12):1222-1228.
- novel. 2014. emed Pedographie Systeme [Flyer]. München: art science.
- Nyska M, Liberson A, McCabe C, Linge K, Klenerman L. 1998. Plantar foot pressure distribution in patients with Hallux valgus treated by distal soft tissue procedure and proximal metatarsal osteotomy. *Foot and Ankle Surgery*, 4:35-41.
- Okuda R, Yasuda T, Jotoku T, Shima H. 2013. Proximal abduction-supination osteotomy of the first metatarsal for adolescent hallux valgus: a preliminary report. *J Orthop Sci*, 18 (3):419-425.
- Oravakangas R, Leppilahti J, Laine V, Niinimäki T. 2016. Proximal Opening Wedge Osteotomy Provides Satisfactory Midterm Results With a Low Complication Rate. *J Foot Ankle Surg*, 55 (3):456-460.
- Osher L, Blazer MM, Buck S, Biernacki T. 2014. Accurate determination of relative metatarsal protrusion with a small intermetatarsal angle: a novel simplified method. *J Foot Ankle Surg*, 53 (5):548-556.
- Park CH, Cho JH, Moon JJ, Lee WC. 2016. Can Double Osteotomy Be a Solution for Adult Hallux Valgus Deformity With an Increased Distal Metatarsal Articular Angle? *J Foot Ankle Surg*, 55 (1):188-192.
- Park JY, Jung HG, Kim TH, Kang MS. 2011. Intraoperative incidence of hallux valgus interphalangeus following basilar first metatarsal osteotomy and distal soft tissue realignment. *Foot Ankle Int*, 32 (11):1058-1062.
- Petersen W, Seide HW. 2000. [Early outcome of correction of hallux valgus with the Scarf osteotomy]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 138 (3):258-264.
- Piggott H. 1960. The natural history of hallux valgus in adolescence and early adult life. *J Bone Joint Surg*, 42B:749.
- Pique-Vidal C, Sole MT, Antich J. 2007. Hallux valgus inheritance: pedigree research in 350 patients with bunion deformity. *J Foot Ankle Surg*, 46 (3):149-154.
- Pisani G, Küster W, Thomas W. 1998a. Hallux valgus beim Erwachsenen. *Fußchirurgie*. Stuttgart: Georg-Thieme Verlag, 262-266.
- Pisani G, Küster HH, Thomas W. 1998b. Hallux valgus bei Kindern. *Fußchirurgie*. Stuttgart: Georg-Thieme Verlag, 255-261.
- Pontious J, Mahan KT, Carter S. 1994. Characteristics of adolescent hallux abducto valgus. A retrospective review. *J Am Podiatr Med Assoc*, 84 (5):208-218.
- Putti AB, Arnold GP, Cochrane LA, Abboud RJ. 2008. Normal pressure values and repeatability of the Emed ST4 system. *Gait Posture*, 27 (3):501-505.
- Putti AB, Pande S, Adam RF, Abboud RJ. 2012. Keller's arthroplasty in adults with hallux valgus and hallux rigidus. *Foot Ankle Surg*, 18 (1):34-38.
- Rabl CRH, Nyga W. 1994. Hallux valgus. *Orthopädie des Fußes*. Stuttgart: Enke, 104-105.
- Ramanathan EB, Heywood-Waddington MB. 1988. Plaster support after Wilson's osteotomy for hallux valgus. *J Bone Joint Surg Br*, 70 (3):412-414.
- Rao UB, Joseph B. 1992. The influence of footwear on the prevalence of flat foot. A survey of 2300 children. *J Bone Joint Surg Br*, 74 (4):525-527.
- Reina M, Lafuente G, Munuera PV. 2013. Effect of custom-made foot orthoses in female hallux valgus after one-year follow up. *Prosthet Orthot Int*, 37 (2):113-119.
- Resch S. 1998. Hallux valgus: Distale Osteotomien des Metatarsale I. In: Wülker N, Stephens M, Cracchiolo A, Hrsg. *Operationsatlas Fuß und Sprunggelenk*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 7-18.

- Resch S, Stenstrom A, Jonsson K, Reynisson K. 1993. Results after chevron osteotomy and proximal osteotomy for hallux valgus: a prospective, randomized study. *The Foot*, 1993 (3):99-104.
- Robinson AH, Cullen NP, Chhaya NC, Sri-Ram K, Lynch A. 2006. Variation of the distal metatarsal articular angle with axial rotation and inclination of the first metatarsal. *Foot Ankle Int*, 27 (12):1036-1040.
- Rosenbaum de Britto S. 1982. The first metatarso-sesamoid joint. *Int Orthop*, 6 (1):61-67.
- Saro C, Jensen I, Lindgren U, Fellander-Tsai L. 2007a. Quality-of-life outcome after hallux valgus surgery. *Qual Life Res*, 16 (5):731-738.
- Saro C, Johnson DN, Martinez De Aragon J, Lindgren U, Fellander-Tsai L. 2005. Reliability of radiological and cosmetic measurements in hallux valgus. *Acta Radiol*, 46 (8):843-851.
- Saro C, Andr en B, Fell ander-Tsai L, Lindgren U, Arndt A. 2007b. Plantar pressure distribution and pain after distal osteotomy for hallux valgus: A prospective study of 22 patients with 12-month follow-up. *The Foot*, (17):84-93.
- Schenk S, Meizer R, Kramer R, Aigner N, Landsiedl F, Steinboeck G. 2009. Resection arthroplasty with and without capsular interposition for treatment of severe hallux rigidus. *Int Orthop*, 33 (1):145-150.
- Schuh R, Hofstaetter SG, Kristen KH, Trnka HJ. 2008. [Effect of physiotherapy on the functional improvement after hallux valgus surgery - a prospective pedobarographic study]. *Z Orthop Unfall*, 146 (5):630-635.
- Schuh R, Adams S, Hofstaetter SG, Krismer M, Trnka HJ. 2010. Plantar loading after chevron osteotomy combined with postoperative physical therapy. *Foot Ankle Int*, 31 (11):980-986.
- Schulze B, Stern T, Schulze W, Dohle J, Hamel J. 2001. [Clinical pedographic radiological findings after basal valgus osteotomy of metatarsal 1--a prospective study]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 139 (5):440-446.
- Schunck J. 2009a. Operation nach McBride. In: Jerosch J, Heisel J, Hrsg. *Operative Therapie von Fuß und Sprunggelenk: Fußchirurgie in Klinik und Praxis*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 193-194.
- Schunck J. 2009b. Endoprothese des Großzehengrundgelenks. In: Jerosch J, Heisel J, Hrsg. *Operative Therapie von Fuß und Sprunggelenk: Fußchirurgie in Klinik und Praxis*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 223-225.
- Schunck J. 2009c. Distale Metatarsale-I-Osteotomien. In: Jerosch J, Heisel J, Hrsg. *Operative Therapie von Fuß und Sprunggelenk: Fußchirurgie in Klinik und Praxis*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 207-213.
- Schunck J. 2009d. Resektionsarthroplastik. In: Jerosch J, Heisel J, Hrsg. *Operative Therapie von Fuß und Sprunggelenk*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 213-215.
- Schunck J, Jerosch J. 2009. Arthrodesse des MTP-Gelenks. In: Jerosch J, Heisel J, Hrsg. *Operative Therapie von Fuß und Sprunggelenk: Fußchirurgie in Klinik und Praxis*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 220-223.
- Sch nke M, Schulte E, Schumacher U. 2005. *Sesambeine und Zehendeformit ten*. Prometheus: LernAtlas der Anatomie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 462-463.
- Scranton PE, Jr., Zuckerman JD. 1984. Bunion surgery in adolescents: results of surgical treatment. *J Pediatr Orthop*, 4 (1):39-43.
- Shapiro F, Heller L. 1975. The Mitchell distal metatarsal osteotomy in the treatment of hallux valgus. *Clin Orthop Relat Res*, (107):225-231.
- Shi K, Tomita T, Hayashida K, Owaki H, Ochi T. 2000. Foot deformities in rheumatoid arthritis and relevance of disease severity. *J Rheumatol*, 27 (1):84-89.
- Shine IB. 1965. Incidence of Hallux Valgus in a Partially Shoe-Wearing Community. *Br Med J*, 1 (5451):1648-1650.

- Silver D. 1923. The operative treatment of hallux valgus. *J Bone Joint Surg*, 5:225-231.
- Sim-Fook L, Hodgson AR. 1958. A comparison of foot forms among the non-shoe and shoe-wearing Chinese population. *J Bone Joint Surg Am*, 40-A (5):1058-1062.
- Slullitel G, Lopez V, Calvi JP, Seletti M, Bartolucci C, Pinton G. 2016. Effect of First Ray Insufficiency and Metatarsal Index on Metatarsalgia in Hallux Valgus. *Foot Ankle Int*, 37 (3):300-306.
- Smith BW, Coughlin MJ. 2009. Treatment of hallux valgus with increased distal metatarsal articular angle: use of double and triple osteotomies. *Foot Ankle Clin*, 14 (3):369-382.
- Sorensen MD, Hyer CF. 2009. Metatarsus primus varus correction: the osteotomies. *Clin Podiatr Med Surg*, 26 (3):409-425, Table of Contents.
- Steinbock G, Leder K. 1988. Operation des Hallux valgus nach Akin-New: Einjahresergebnisse einer gedeckten Operationsmethode. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 126:420-424.
- Stuber J, Zech S, Bay R, Qazzaz A, Richter M. 2011. Normative data of the Visual Analogue Scale Foot and Ankle (VAS FA) for pathological conditions. *Foot Ankle Surg*, 17 (3):166-172.
- Szaboky GT, Raghaven VC. 1969. Modification of Mitchells Lateral Displacement Angulation Osteotomy. *Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, A 51 (7):1430-&.
- Talbot KD, Saltzman CL. 1998. Assessing sesamoid subluxation: how good is the AP radiograph? *Foot Ankle Int*, 19 (8):547-554.
- Tang SF, Chen CP, Pan JL, Chen JL, Leong CP, Chu NK. 2002. The effects of a new foot-toe orthosis in treating painful hallux valgus. *Arch Phys Med Rehabil*, 83 (12):1792-1795.
- Tehraninasr A, Saeedi H, Forogh B, Bahramizadeh M, Keyhani MR. 2008. Effects of insole with toe-separator and night splint on patients with painful hallux valgus: a comparative study. *Prosthet Orthot Int*, 32 (1):79-83.
- Thermann H. 2004. *Neue Techniken Fußchirurgie*. Darmstadt: Steinkopff Verlag.
- Thomas S, Barrington R. 2003. Hallux valgus. *Current Orthopaedics*, 17 (4):299-307.
- Thordarson D, Ebramzadeh E, Moorthy M, Lee J, Rudicel S. 2005. Correlation of hallux valgus surgical outcome with AOFAS forefoot score and radiological parameters. *Foot Ankle Int*, 26 (2):122-127.
- Torkki M, Malmivaara A, Seitsalo S, Hoikka V, Laippala P, Paavolainen P. 2001. Surgery vs orthosis vs watchful waiting for hallux valgus: a randomized controlled trial. *JAMA*, 285 (19):2474-2480.
- Uchiyama E, Kitaoka HB, Luo ZP, Grande JP, Kura H, An KN. 2005. Pathomechanics of hallux valgus: biomechanical and immunohistochemical study. *Foot Ankle Int*, 26 (9):732-738.
- Waizy H. 2014. Hallux valgus AWMF- Leitlinien.
- Waldecker U. 2002. Metatarsalgia in hallux valgus deformity: a pedographic analysis. *J Foot Ankle Surg*, 41 (5):300-308.
- Walther M, Menzinger F, Dreyer F, Mayer B. 2008. [The proximal open-wedge osteotomy with interlocking plate for correction of splayfoot deformities with hallux valgus]. *Oper Orthop Traumatol*, 20 (6):452-462.
- Wen J, Ding Q, Yu Z, Sun W, Wang Q, Wei K. 2012. Adaptive changes of foot pressure in hallux valgus patients. *Gait Posture*, 36 (3):344-349.
- Wester JU, Hamborg-Petersen E, Herold N, Hansen PB, Froekjaer J. 2016. Open wedge metatarsal osteotomy versus crescentic osteotomy to correct severe hallux valgus deformity - A prospective comparative study. *Foot Ankle Surg*, 22 (1):26-31.
- Wilson JN. 1963. Oblique Displacement Osteotomy for Hallux Valgus. *J Bone Joint Surg Br*, 45:552-556.
- Wülker N. 1997. *Hallux valgus- Hallux rigidus*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.

- Wülker N, Mittag F. 2012. The treatment of hallux valgus. *Dtsch Arztebl Int*, 109 (49):857-867; quiz 868.
- Yamamoto H, Muneta T, Asahina S, Furuya K. 1996. Forefoot pressures during walking in feet afflicted with hallux valgus. *Clin Orthop Relat Res*, (323):247-253.
- Yammine K. 2014. The sesamoids of the feet in humans: a systematic review and meta-analysis. *Anat Sci Int*.
- Yildirim Y, Saygi B, Aydin N, Cabukoglu C, Bautista S. 2007. Components of the Wilson osteotomy that are effective on hallux valgus repair. *J Foot Ankle Surg*, 46 (1):21-26.
- Youngswick FD. 1982. Modifications of the Austin bunionectomy for treatment of metatarsus primus elevatus associated with hallux limitus. *J Foot Surg*, 21 (2):114-116.
- Yurt Y, Sener G, Yakut Y. 2014. Footwear suitability in Turkish preschool-aged children. *Prosthet Orthot Int*, 38 (3):224-231.
- Zollinger H, Imhoff A. 1986. Die operative Behandlung des Hallux valgus. In: W B, Hrsg. *Hallux valgus*. Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag, 96-104.
- Zollinger H, Fellmann J, Brumm C. 1996. [Juvenile hallux valgus]. *Orthopade*, 25 (4):349-353.

11. Anhang

- 11.1 Fragebogen zum juvenilen Hallux valgus
- 11.2 Bildband zum Operationsverlauf exemplarisch an einer Doppelosteotomie
- 11.3 Abbildungsverzeichnis
- 11.4 Tabellenverzeichnis
- 11.5 Danksagung
- 11.6 Ehrenamtliche Erklärung
- 11.7 Tabellarischer Lebenslauf

11.1 Fragebogen zum juvenilen Hallux valgus

Fragebogen zum jugendlichen Hallux valgus

Liebe Jugendliche, liebe Kinder, liebe Eltern, im Rahmen einer Promotion zum jugendlichen Hallux valgus möchten wir Sie gerne zu Ihren Erfahrungen befragen. Diese Befragung findet anonym statt und Ihre Daten werden vertraulich behandelt. Mit Ausfüllen des Fragebogens erklären Sie sich zu der Teilnahme an dieser Studie bereit.

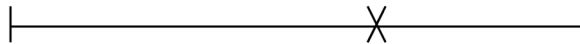
Zur Identifikation geben Sie bitte die Initialen des Patienten an:

Datum:

Männlich ☐

Weiblich ☐


Bitte beantworten Sie die unten aufgeführten Fragen. Manchmal können auch Mehrfachantworten gegeben werden. Bei einem Strahl kreuzen Sie bitte die entsprechende Situation so an:



1. Wie wirst du im Moment aufgrund des Hallux valgus („Ballenzehe/Schiefzehe“) behandelt?
Physiotherapie ☐ Zehenspreizer ☐ Nachtlagerungsschiene ☐
Schuheinlagen ☐ Vorbereitung zur OP ☐ Gar nicht ☐
2. Hast du gelegentlich aufgrund der Zehenfehlstellung Schmerzen?
Ja ☐
Nein ☐

Wenn ja, in welchen Situationen?
Kurze Gehstrecken ☐ Lange Gehstrecken ☐ in Ruhe ☐
Laufen auf hartem Untergrund ☐ Treppen steigen ☐ Treppen hinunter gehen ☐
Beim Sport ☐
In anderen Gelegenheiten ☐ nämlich
3. Wie oft treten diese Schmerzen auf?
selten ☐ gelegentlich ☐ täglich für einige Stunden ☐ ständig ☐
4. Bei Schmerzen beim Sport, welche Sportarten sind am meisten betroffen?
Sprungdisziplinen ☐ Sprint ☐ Ausdauerlauf ☐
Turnen ☐ Ballsportarten ☐ andere ☐
nämlich:
5. Auf welche Bereiche des Beines beschränken sich die Schmerzen?

Bitte ankreuzen:


6. Hast du den Eindruck, dass ein Bein schwächer ist, als das andere?
Ja ☐
Nein ☐
7. Wie stark schränkt dich dein Fuß im Alltag ein?
gering |-----| stark
8. Schränkt dein Fuß dich beim Treppen steigen ☐ oder hinab laufen ☐ ein? (Schmerzen ausgenommen, siehe Frage 2)
9. Wie stark schränken Fußprobleme das Stehen auf einem Bein ein?
Keine Einschränkung |-----| unmöglich auf einem Bein zu Stehen
10. Welche Schuhe kannst du problemlos tragen?
Nur orthopädische Schuhe, Orthesen ☐
Nur Schuhe mit Einlagen ☐
Turnschuhe und andere bequeme Schuhe ☐

11. Treten Schmerzen oder Probleme auch beim Barfußlaufen auf?

Ja ☐
Nein ☐

12. Wie stark ist das Laufen auf unebenen Geländen eingeschränkt?

Keine Probleme |-----| starke Einschränkung/ Schmerzen

13. Inwieweit treten Probleme beim Zehenspitzenstand auf?

Keine Probleme |-----| starke Einschränkung/ Schmerzen

14. Wie stark veränderten Fußprobleme dein Gangbild?

Keine Veränderungen |-----| starkes Hinken/
starke Behinderungen

15. Hast du Schwielen an den Füßen oder bemerkst du Steifheit im Gelenk?

Beides ☐ nur Schwielen ☐ nur Steifheit ☐

16. Wie zufrieden bist du mit dem Aussehen deines Fußes, insbesondere der Zehe?

😊 |-----| 😞

17. Wurdest du bereits aufgrund des Hallux valgus operiert?

Ja ☐
Nein ☐

18. Falls du bereits eine OP hattest:

Was hat dich dazu bewegt?

Aussehen ☐ Schmerz ☐ Einschränkungen beim Gehen ☐
nicht passendes Schuhwerk ☐ anderes, nämlich.....

Wie lange hattest du Schmerzen nach der OP?

Bis 1 Monat ☐ bis 6 Monate ☐
Bis 2 Monate ☐ bis 1 Jahr ☐
Bis 4 Monate ☐ länger, nämlich..... ☐

Kannst du die Großzehe jetzt frei bewegen?

Ja ☐
Nein ☐

Wie zufrieden bist du insgesamt mit dem OP-Ergebnis?

😊 |-----| 😞

Vielen Dank für die Beantwortung der Fragen. Der ausgefüllte Fragebogen sollte dem ärztlichen Personal zurückgegeben werden.

Für Bemerkungen, Wünsche oder Anregungen zu dem Fragebogen wären wir sehr dankbar.

Bemerkung:.....
.....
.....
.....
.....
.....

11.2 Bildband zum Operationsverlauf exemplarisch an einer Doppelosteotomie

- mit proximaler Umstellung und distaler Chevronosteotomie, sowie lateralem Weichteilrelease



Standardaufnahme beider Füße einer 14-jährigen Patientin vor Operation: Hallux valgus links>rechts, gerötete Pseudoexostose über linkem GZGG, angedeuteter Hallux subductus und leichte Pronation des Hallux



Operationsvorbereitung durch Abwaschen mit Desinfektionsmittel und steriles Abdecken des gesamten Fußes. Die Operation erfolgt in Blutleere.



Medialer leicht bogenförmiger longitudinaler Hautschnitt oberhalb des Metatarsale 1, Großzehengrundgelenk übergreifend bis zur proximalen Wachstumsfuge



Präparation bis auf das mediale Os metatarsale 1



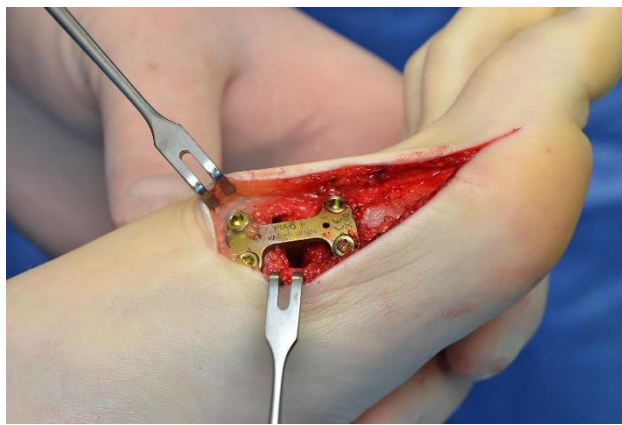
Vorbereitung der proximalen Umstellung mittels Kirschner-Führungsdraht und Bildwandlersystem



Durchführung der proximalen Osteotomie mit Hilfe eines Knochenmeißels, danach stufenweises Aufbiegen der Osteotomie auf 5mm



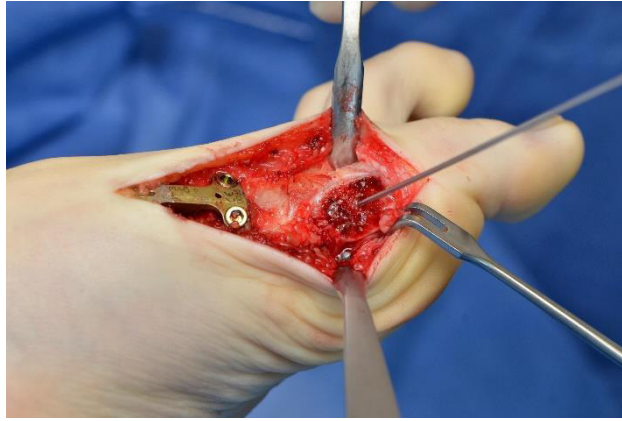
Mobilisierung der Fragmente



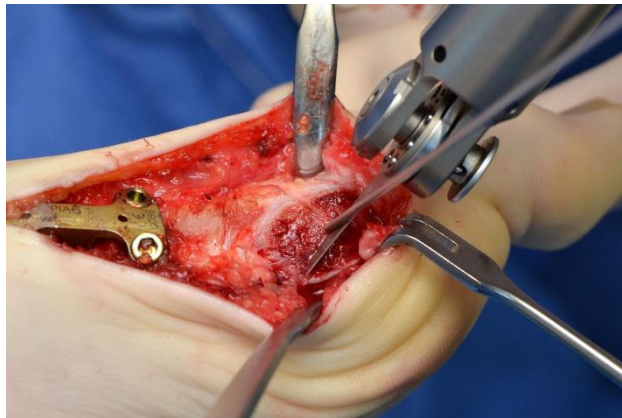
Lateralisierung des distalen Fragments und Fixierung mit Hilfe einer winkelstabilen 6mm Stegplatte



Beginn der Chevronosteotomie: Abtragen der Pseudoexostose am medialen Metatarsaleköpfchen mittels Meißel



Einbohrung eines Kirschnerdrahtes in das Zentrum des Metatarsaleköpfchens 1 mit Zielrichtung auf das MFK 5



Anlegen der beiden Schenkel der V-Osteotomie mittels oszillierender Säge in einem Winkel von 60°-90° mit nach proximal offener Basis



Mobilisierung des distalen Fragments



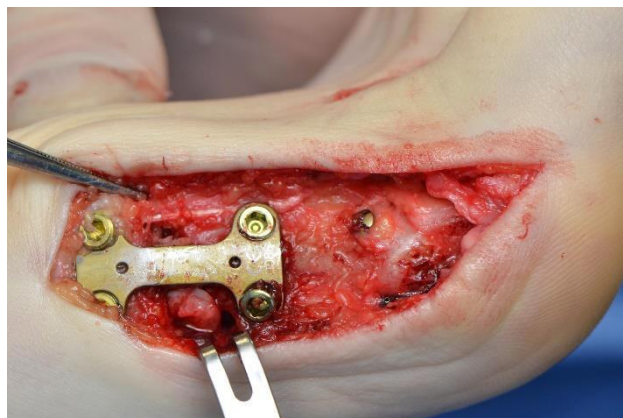
Über einen Hautschnitt im ersten Interdigitalraum wird eine Tenotomie des M. adductor hallucis durchgeführt und somit eine Mobilisierung der Großzehe nach medial erleichtert



Es erfolgt eine laterale Verschiebung des distalen Fragments um ca. 3-5mm, welches durch eine Leibinger® Schraube in dieser Position fixiert wird.

Die Mobilisierbarkeit der Großzehe wird intraoperativ getestet und gegebenenfalls weitere Fasern des M. adductor hallucis durchtrennt.

Die Stellung wird anhand des Bildwandlers in a.p. und lateraler Aufnahme kontrolliert.



Der entstandene Defekt der proximal aufklappenden Osteotomie wird mit autologer Spongiosa gefüllt



Nach Blutstillung erfolgt die Kapsel-und Hautnaht, letztere mit resorbierbaren Polyethylenfäden.

Ein „Dicker Watteverband“ mit Redression von D1 wird angelegt.

11.3 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1 Ansatz der Sehnen und Lage der Sesambeine (orange) modifiziert nach Coughlin 1996
- Abbildung 2 Die wesentlichen Muskeln bei der Pathogenese des Hallux valgus modifiziert nach Coughlin 1996
- Abbildung 3 Bestimmung des Hallux-valgus-Winkels (α), Intermetatarsalewinkels (β) und DMAA (δ)
- Abbildung 4 Metatarsus-adductus-Winkel(ϵ) und Metatarsale Protrusionsdistanz (d) mit Scheitelpunkt (S) der Kreisbögen
- Abbildung 5 Hallux valgus Schiene von halluxsan® mit Krafteinwirkungen
- Abbildung 6 Überblick über Standardoperationsverfahren
- Abbildung 7 Position der V-förmigen Osteotomie am Metatarsaleköpfchen 1
- Abbildung 8 Prinzip der Chevron Osteotomie nach Klosok et al. 1993
- Abbildung 9 Osteotomie des Metatarsale 1-Schaftes
- Abbildung 10 Prinzip der Kramer-Osteotomie am Metatarsale 1
- Abbildung 11 Prinzip der Mitchell-Osteotomie am Metatarsale 1
- Abbildung 12 AOFAS Score für den ersten Vorfußstrahl
- Abbildung 13 Hallux-valgus-interphalangeus-Winkel (μ)
- Abbildung 14 Position der Sesambeine in Relation zur Schafthalbierenden des MT1 nach Hardy und Clapham 1951
- Abbildung 15 Messung des Kalkaneusbodenwinkels (η), des Talokalkanealwinkels (κ), des MT1-Boden-Winkels (τ) und des sagittalen Tibiotalarwinkels (ϕ)
- Abbildung 16 Röntgenbild eines inkongruenten Gelenks
- Abbildung 17 Fußdruck-Messplattform „emed®-c50“
- Abbildung 18 Zwei- und dreidimensionale Darstellung der plantaren Druckverteilung mit COP-Linie
- Abbildung 19 Einteilung des Fußes in 10 Unterzonen
- Abbildung 20 Geschlechterverteilung der Studie zum juvenilen Hallux valgus
- Abbildung 21 Altersverteilung zum Zeitpunkt der Operation
- Abbildung 22 Verteilung der angewandten Behandlungsverfahren
- Abbildung 23 Vergleich der Gruppen hinsichtlich Operationsdauern und Liegezeit
- Abbildung 24 Unterschied zwischen prä- und postoperativem AOFAS Score
- Abbildung 25 Schmerzen in operierter Gruppe
- Abbildung 26 Schmerzen in konservativer Gruppe
- Abbildung 27 Erfragte Schmerzlokalisation in Anzahl und Prozent
- Abbildung 28 Subjektive Beweggründe für die Entscheidung zu einer Operation
- Abbildung 29 Dauer des postoperativen Schmerzes
- Abbildung 30 Prä- und postoperativer Vergleich der Kraftmaxima in %KG mit Kontrolle

- Abbildung 31 Prä- und postoperativer Vergleich der Kraftmaxima in %KG mit Kontrolle und zwischen den Operationsverfahren für ausgewählte Bereiche
- Abbildung 32 Prä- und postoperativer Vergleich der Spitzendrücke in kPa mit Kontrolle
- Abbildung 33 Prä- und postoperativer Vergleich der Spitzendrücke in kPa mit Kontrolle und zwischen den Operationsverfahren für ausgewählte Bereiche
- Abbildung 34 Prä- und postoperativer Vergleich der Kontaktzeit in %ROP mit Kontrolle
- Abbildung 35 Prä- und postoperativer Vergleich der Kontaktzeit in %ROP mit Kontrolle und zwischen den Operationsverfahren für ausgewählte Bereiche
- Abbildung 36 Prä- und postoperativer Vergleich der Kontaktfläche in cm² mit Kontrolle
- Abbildung 37 Prä- und postoperativer Vergleich der Kontaktfläche in cm² mit Kontrolle und zwischen den Operationsverfahren für ausgewählte Bereiche
- Abbildung 38 Prädiktoreneinfluss auf den postoperativen AOFAS Score
- Abbildung 39 Vergleich der Spitzendruckwerte zwischen gesundem Proband (links) und Hallux-valgus-Patient mit zusätzlicher Senkfußproblematik (rechts)
- Abbildung 40 Vergleich der Spitzendruckwerte zwischen gesundem Proband (links) und Hallux-valgus-Patient nach Operation (rechts)

11.4 Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1 Schweregradeinteilung des Hallux valgus anhand von HV- und IM-Winkel
- Tabelle 2 Rezidiv- und Revisionsverhalten und deren Verteilung nach Operationsverfahren
- Tabelle 3 Liegezeit und Operationsdauer gestaffelt nach Operationsverfahren
- Tabelle 4 Beurteilung der Funktionalität mittels Visual Analog Scale
- Tabelle 5 Mittelwerte der radiologischen Parameter
- Tabelle 6 Präoperative Mittelwerte und Standardabweichungen der emed[®]-Fußdruckmessung unter den verschiedenen Bereichen
- Tabelle 7 Postoperative Mittelwerte und Standardabweichungen der emed[®]-Fußdruckmessung unter den verschiedenen Bereichen
- Tabelle 8 Alle signifikanten Korrelationen zwischen radiologischen und pedobarografischen Parametern und den klinischen Punkten
- Tabelle 9 Korrelationen zwischen pedobarografischen und radiologischen Parametern
- Tabelle 10 Regressionsanalyse für normierte und nicht-normierte emed[®]-Daten, sowie Radiologie

11.5 Danksagung

Zunächst möchte ich Herrn Prof. Dr. med. G. Matziolis für die Möglichkeit der Promotion im Bereich der Kinderorthopädie am Waldkrankenhaus „Rudolf-Elle“ in Eisenberg, ebenso wie für die fachliche und methodische Unterstützung bei allen offenen Fragen herzlich danken.

Der nächste Dank geht an meinen Betreuer Herrn OA Dr. med. A. Sachse, der mir die Möglichkeit gegeben hat dieses Thema zu bearbeiten. Er stand mir jederzeit mit einem offenen Ohr und Rat und Tat zur Seite. Mit seiner enthusiastischen und motivierenden Art fiel die Arbeit immer wieder ein Stück leichter. Ich bedanke mich recht herzlich für die Zeit, die für mich geopfert wurde. Die geduldigen Erklärungen und fachlichen Erläuterungen waren mir eine große Hilfe und sind auch für meine künftige Arbeit von enormen Wert für mich.

Des Weiteren sind die Herren Dr.-Ing K. Sander, Dr.-Ing. F. Layher und H. Hauk mit an vorderer Position zu erwähnen, die mich nicht nur bei der Erfassung der biomechanischen Parameter unterstützt, sondern mir auch bei jeglichen Fragen zu helfen wussten. Ohne diese Personen hätte ich diese Arbeit niemals fertig stellen können. Es war eine Freude gemeinsam zu arbeiten und ich bin jederzeit gerne in die Biomechanik gekommen. Für die enorme Hilfe und fachlichen Tipps möchte ich mich aufs Stärkste bedanken.

Zu guter Letzt sind meine Familie und Freunde zu benennen, die mir immer wieder den Rücken stärkten, mich ermutigten, wenn die Arbeit mal wieder über den Kopf gewachsen ist und die jederzeit an mich geglaubt haben. Vor allem meine Eltern sind hier zu erwähnen, die immer für mich da waren. Sie haben mir die Möglichkeit gegeben, diese Arbeit ohne weitere Sorgen fertigzustellen. Ein großer Dank geht auch an Frau Sabine Schott für das Korrekturlesen der Arbeit und an meinen Freund, der mir in den letzten Zügen eine große organisatorische und emotionale Stütze war.

11.6 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Herr Prof. Dr. med. Georg Matziolis, Herr Dr. med. André Sachse, die Herren Dr.-Ing. Klaus Sander und Dr.-Ing. Frank Layher, sowie Herr Hardi Hauk.

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Ort, Datum

Unterschrift des Verfassers